Vanessa Ribeiro Campos

**Modelo de apoio à decisão multicritério para
priorização de projetos em saneamento**

Tese apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo como requisito parcial para a obtenção do título de doutor em engenharia de produção

**Área de Concentração: Economia, Organizações
e Gestão do Conhecimento**

Orientador: Prof. Dr. Edson Walmir Cazarini

**São Carlos
2011**

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento
da Informação do Serviço de Biblioteca – EESC/USP

C198m	<p>Campos, Vanessa Ribeiro.</p> <p>Modelo de apoio à decisão multicritério para priorização de projetos em saneamento. / Vanessa Ribeiro Campos ; orientador Edson Walimir Cazarini. São Carlos, 2011.</p> <p>Tese (Doutorado - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Produção e Área de Concentração em Economia, Organizações e Gestão do Conhecimento)-- Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2011.</p> <p>1. Saneamento. 2. Sistemas de apoio à decisão. 3. PROMETHEE. 4. ELECTRE. I. Título.</p>
-------	---

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidata: Engenheira **VANÊSSA RIBEIRO CAMPOS**

Título da tese: "Modelo de apoio à decisão multicritério para priorização de projetos em saneamento".

Data da defesa: 25/11/2011

Comissão Julgadora:

Prof. Dr. **Edson Walmir Cazarini (Orientador)**
(Escola de Engenharia de São Carlos/EESC)

Prof. Dr. **Léo Heller**
(Universidade Federal de Minas Gerais)

Prof. Dr. **Rubem La Laina Porto**
(Escola Politécnica/USP)

Prof. Titular **José Roberto Campos**
(Escola de Engenharia de São Carlos/EESC)

Prof. Dr. **Marcelo Seido Nagano**
(Escola de Engenharia de São Carlos/EESC)

Resultado:

Aprovada

aprovado

aprovada

Aprovado

Aprovada

Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção:
Prof. Titular **Henrique Rozenfeld**

Presidente da Comissão de Pós-Graduação:
Prof. Associado **Paulo Cesar Lima Segantine**

AGRADECIMENTOS

Ao professor Cazarini pela orientação valiosa, dedicação e amizade. Obrigada por sua confiança e por me guiar com seus conhecimentos nos momentos de dúvida.

Ao Comitê PCJ pelas informações e colaboração imprescindíveis. Ao Dr. Francisco Lahóz pela presteza, incentivo e por compartilhar os seus conhecimentos.

À Companhia de Água e Esgoto do Ceará pelo importante auxílio. Ao Dr. Henrique e Dr. Oliveira, por acreditar e incentivar essa pesquisa. À Liana, não só pela amizade estimada, mas pelo apoio ao estudo, desde o seu princípio.

Aos integrantes do departamento de Engenharia de Produção pela eficiência e cuidadosa atenção com os alunos.

À minha família pelo amor e carinho eterno. À minha mãe que me ensinou a trilhar por caminhos desafiadores. Ao meu pai, motivo de inspiração, foi nos seus ensinamentos que aprendi a estimar o mundo da pesquisa e a construção do conhecimento.

Ao professor e amigo Swami Villela, sua esposa Arialda e toda a sua família, é inestimável minha gratidão por todo o carinho que me deram e pela mão que me estenderam. Foram preciosos os momentos que dividiram comigo.

Aos meus amigos inesquecíveis do departamento de engenharia de produção pelo aprendizado, por compartilharem as alegrias e os momentos difíceis.

Enfim, muitos contribuíram para o êxito deste trabalho, alguns de forma direta, e outros, mesmo sem saber, ajudaram com seus pensamentos positivos, escutando os meus anseios e celebraram comigo as conquistas. A todos que fizeram parte dessa jornada meus sinceros agradecimentos.

“Estamos neste mundo para aprender sempre e para nos esclarecer mutuamente, trocando ideias e tentando fazer com que as ciências e as artes progridam.”

Wolfgang Amadeus Mozart

RESUMO

CAMPOS, Vanessa Ribeiro. Modelo de apoio à decisão multicritério para priorização de projetos em saneamento. 2011. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

A necessidade de investimento em saneamento no Brasil é essencial, pois está vinculada à melhoria da qualidade de vida da sociedade. Os projetos de saneamento exigem altos investimentos e, para garantir a prestação dos serviços, é necessário um sistema complexo de infraestrutura. Os elevados custos envolvidos e a limitação de recursos financeiros fazem com que seja preciso estabelecer prioridades para execução de projetos de saneamento. Com efeito, o objetivo desta pesquisa é propor um modelo multicritério de decisão para apoiar decisões de hierarquia de projetos de abastecimento de água e esgotamento sanitário. A pesquisa abordada tem enfoque qualitativo, sendo também vista como metodológica, pois sua finalidade é envolver métodos e procedimentos adotados como científicos. Assim, traz como escopo apoiar e estruturar o processo de decisão em que são definidos: os elementos (intervenientes, alternativas potenciais, critérios, problemática); tipos de decisão em grupo; escolha dos métodos multicritérios (PROMETHEE II & GAIA e ELECTRE IV); modelagem de preferência; sistemas de apoio à decisão (D-SIGHT e ELECTRE III-IV); avaliação de resultados e análise de sensibilidade. Procura-se garantir que a pesquisa tenha caráter prático, razão por que foi realizada a aplicação numérica do modelo no contexto da bacia dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá, região sudeste do Brasil.

Palavras-chave: Abastecimento de Água, Esgotamento Sanitário, Sistema de Apoio à Decisão, Priorização de Projetos, Decisão em Grupo, ELECTRE IV, PROMETHEE II

ABSTRACT

CAMPOS, Vanessa Ribeiro. Multicriteria decision aid model for the prioritization of water supply and sewage projects. 2011. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

The need of investment in water supply and sewage projects in Brazil is substantial to improve the quality of life. These projects require high investments and, mostly, to ensure the provision of these services it is necessary a complex infrastructure. Due to the high costs associated with the lack of resources, it is relevant to prioritize projects. Thus, the purpose of this research is to propose a multicriteria decision model to support decisions hierarchy of water supply and sewage projects. This work has a qualitative and methodological approach; the goal is to inquire a scientific procedure. The object is to structure the decision-making process defined by its main concepts (actors, potential alternatives, criteria, problems), group decision making; selection of multiple criteria methods (PROMETHEE II & GAIA, ELECTRE IV); preference modeling, decision support systems (D-SIGHT and ELECTRE III-IV), evaluation and sensitivity analysis. This study seeks a practical purpose, so the proposed model, is applied in the basin of Piracicaba, Capivari e Jundiaí. The contribution here to aid similar situations where is necessary to establish priorities of sanitation projects.

Key words: Water Supply Systems, Sewage Systems, Decision Support System, Project Prioritization, Group Decision Making, PROMETHEE II, ELECTRE IV

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Consumo médio <i>per capita</i> dos participantes do SNIS	26
Figura 2.2- Diagrama de relações entre dimensões políticas.....	29
Figura 3.1 – Processo apoio multicritério à decisão	45
Figura 3.2 – Geração de alternativas.....	48
Figura 3.3 – Tipos de problemáticas.....	51
Figura 3.4 – Grafo da relação de sobreclassificação.....	65
Figura 3.5 - Seis tipos de critérios generalizados.....	75
Figura 3.6 – Fluxos de superação positivo e negativo	76
Figura 3.7 – Fluxos de superação por alternativa	77
Figura 3.8 – Projeção no plano GAIA	79
Figura 3.9 – Aplicações MCDA no gerenciamento de recursos hídricos	90
Figura 4.1 - Fluxograma do planejamento da pesquisa	101
Figura 4.2 - MO e MRN para metodologia de apoio à decisão multicritério	105
Figura 4.3 - MPN para metodologia de apoio à decisão mutlticritério.....	109
Figura 5.1 – Modelo e aplicação numérica	113
Figura 5.2 – Fases de priorização de projetos.....	114
Figura 5.3 – Fluxo do PROMETHEE II & GAIA	123
Figura 5.4 – GAIA no D-SIGHT	125
Figura 5.5 – Escalas qualitativas no D-SIGHT.....	126

Figura 5.6 – Intervalos de estabilidade dos critérios	126
Figura 5.7 – Fluxo do ELECTRE IV	127
Figura 5.8 – Parâmetros no ELECTRE III-IV	128
Figura 5.9 – Definição dos limites no ELECTRE III-IV	129
Figura 5.10 – Mapa das bacias hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí.....	132
Figura 5.11 – Total de investimentos nas bacias PCJ em 2008.....	133
Figura 5.12 – Cenário I – hierarquia conforme PROMETHEE II	141
Figura 5.13 – Cenário II – hierarquia conforme PROMETHEE II	142
Figura 5.14 – Cenário III – hierarquia conforme PROMETHEE II.....	143
Figura 5.15 – GAIA para o Cenário I.....	144
Figura 5.16 – GAIA para o Cenário II.....	145
Figura 5.17 – GAIA conforme o Cenário III.....	146
Figura 5.18 – Gráfico de comparação entre duas alternativas.....	147
Figura 5.19 - Situações de dominância para a matriz de credibilidade	149

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Níveis de atendimento com água e esgoto para o ano de 2009	25
Tabela 3.1 – Matriz de avaliação	50
Tabela 5.1- Critérios de decisão de investimentos.....	136
Tabela 5.2 – Pontuação para os critérios.....	137
Tabela 5.3 – Matriz de avaliação das bacias PCJ	138
Tabela 5.4 – Modelagem de preferência conforme PROMETHEE.....	139
Tabela 5.5 – Limites de preferência e indiferença nas bacias PCJ.	140
Tabela 5.6 – Nível de estabilidade dos pesos por cenário	148
Tabela 5.7 – Matriz de hierarquia	149
Tabela 5.8 – Matriz de credibilidade	150
Tabela 5.9– Ordenação final	152
Tabela 5.10 – Comparativo de hierarquia entre PROMETHEE II e ELECTRE IV.....	153

LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1– Impactos ambientais potenciais para sistemas de abastecimento de água.....	35
Quadro 2.2– Impactos ambientais potenciais para sistemas de esgotamento sanitário.....	37
Quadro 3.1 - Relações básicas de preferência	53
Quadro 3.2 – Relações consolidadas de preferências.....	54
Quadro 3.3– Versões dos métodos da família ELECTRE.....	62
Quadro 3.4 – Tipos de reunião em grupo	85
Quadro 3.5 – Aplicações multicritério em abastecimento de água	91
Quadro 3.6 – Aplicações multicritério em esgotamento sanitário.....	93
Quadro 3.7 – Critérios do sistema de fossa séptica / tanque séptico	97
Quadro 4.1 – Síntese da pesquisa	111
Quadro 5.1 - Atores do setor de saneamento e sua área de interesse	116
Quadro 5.2 – Tipos de decisão em grupo	117
Quadro 5.3 – Propriedades da agregação de preferências	118
Quadro 5.4 - Lista de critérios para avaliação de projetos em saneamento.....	121
Quadro 5.5 - Síntese da aplicação numérica.....	134
Quadro 5.6 – Empreendimentos inscritos para hierarquização em 2008	135
Quadro 5.7 – Hierarquia das alternativas para os três cenários.....	143
Quadro 5.8 – Grafos de hierarquia do ELECTRE IV	151

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AIA	Avaliação de Impacto Ambiental
AHP	Analytic Hierarchy Process
AMD	Apoio Multicritério à Decisão
ANA	Agência Nacional de Águas
CBH	Comitê de Bacia Hidrográfica
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CT-PL	Comitê Técnico de Planejamento da Bacia PCJ
CP	Programação de Compromisso
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
D-SIGHT	Software Decision Sight
EIA	Estudo de Impacto Ambiental
EKD	Enterprise Knowledge Development
ELECTRE	Elimination Et Choix Traduisant la Réalité
ETA	Estação de Tratamento de Água
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
FEHIDRO	Fundo Estadual de Recursos Hídricos
FGTS	Fundo de Garantia do Tempo de Serviço
GAIA	Geometric Analysis for Interactive Aid
GDSS	Group Decision Support Systems
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
MAUT	Multiattribute Utility Theory
MO	Modelo de Objetivos
MRN	Modelo de Regras de Negócio
MPN	Modelo de processos de negócio
NGT	Nominal Group Technique
MCDA	Multiple Criteria Decision Analysis (Métodos Multicritério de Apoio à Decisão)
PCJ	Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí
PIB	Produto Interno Bruto
PLANASA	Plano Nacional de Saneamento

PMSS	Projeto de Modernização do Setor Saneamento
PMSB	Plano Municipal de Saneamento Básico
PNSB	Política Nacional de Saneamento Básico
PRODES	Programa de Compra de Esgoto Tratado
PROMÉTHEE	Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation
SAD	Sistema de Apoio à Decisão
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
TIR	Taxa Interna de Retorno
VPL	Valor Presente Líquido

LISTA DE SÍMBOLOS

A	conjunto de alternativas
$P(\alpha)$	problemática de escolha
$P(\beta)$	problemática de classificação
$P(\gamma)$	problemática de ordenação
p	limite de preferência
q	limite de indiferença
v	limite de veto
Φ^+	fluxo de superação positivo
Φ^-	fluxo de superação negativo
$P(a,b)$	função de preferência de a em b
$H(d)$	função de preferência para critérios generalizados
P	relação de preferência estrita
Q	relação de preferência fraca
R	relação de incomparabilidade
I	relação de indiferença
$C(a,b)$	índice de concordância de a e b
$D(a,b)$	índice de discordância de a e b
$P(d)$	função de preferência para os seis tipos de critérios generalizados
I_{ab}	índice de abastecimento de água
I_{ab}	índice de coleta de esgoto
S_c	dominância canônica
S_p	pseudo dominância
S_q	quasidominância
S_s	subdominância

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	18
1.1	Relevância do estudo	19
1.2	Questão de pesquisa	21
1.3	Objetivos da pesquisa	21
1.4	Organização do trabalho	22
2	PROJETOS DE SANEAMENTO.....	23
2.1	Panorama do saneamento no Brasil	23
2.2	Níveis de atendimento de água e esgoto	25
2.3	Projetos em saneamento	27
2.3.1	<i>Projetos Públicos.....</i>	<i>28</i>
2.3.2	<i>Dimensão técnica</i>	<i>30</i>
2.3.3	<i>Dimensão econômico-financeira</i>	<i>31</i>
2.3.4	<i>Dimensão ambiental.....</i>	<i>33</i>
2.3.5	<i>Dimensão sanitária e social</i>	<i>37</i>
2.3.6	<i>Considerações legais e regulatórias</i>	<i>39</i>
3	APOIO À DECISÃO MULTICRITÉRIO	42
3.1	Processo de decisão multicritério	44
3.1.1	<i>Elementos do processo de tomada de decisão</i>	<i>46</i>
3.1.2	<i>Tipos de problemáticas.....</i>	<i>50</i>
3.1.3	<i>Análise de sensibilidade.....</i>	<i>52</i>
3.2	Modelagem de preferência.....	52
3.2.1	<i>Estruturas de preferências.....</i>	<i>55</i>
3.2.2	<i>Relação de dominância.....</i>	<i>56</i>
3.2.3	<i>Limiares de preferência e indiferença.....</i>	<i>57</i>
3.2.4	<i>Informações intercritérios.....</i>	<i>57</i>
3.3	Métodos multicritério de apoio à decisão	59
3.3.1	<i>ELECTRE</i>	<i>62</i>
3.3.2	<i>SAD para aplicação do ELECTRE</i>	<i>72</i>

3.3.3	<i>PROMETHEE</i>	72
3.3.4	<i>SAD para aplicação do PROMETHEE</i>	80
3.4	Decisão em grupo	81
3.4.1	<i>Regras de decisão em grupo</i>	82
3.4.2	<i>Técnicas que apoiam o consenso da decisão</i>	83
3.4.3	<i>Abordagens de agregação de preferências</i>	86
3.5	Aplicações da literatura	89
3.5.1	<i>Metodologias multicritério aplicadas em saneamento</i>	89
3.5.2	<i>Aplicações no Brasil para priorização de projetos em saneamento</i>	95
4	MÉTODO DE PESQUISA	98
4.1	Características científicas da pesquisa	98
4.2	Planejamento da pesquisa	100
4.3	Etapas da metodologia de apoio à decisão	103
4.3.1	<i>Modelos de objetivos e regras de problema multicritério</i>	105
4.3.2	<i>Modelo de processos de negócio para um problema multicritério</i>	107
4.4	Resumo do método de pesquisa	111
5	MODELO DE PRIORIZAÇÃO PARA PROJETOS DE SANEAMENTO	112
5.1	O processo de priorização de projetos.....	114
5.1.1	<i>Intervenientes no processo de decisão</i>	115
5.1.2	<i>Definição do tipo de decisão em grupo</i>	116
5.1.3	<i>Definição das alternativas</i>	119
5.1.4	<i>Definição dos critérios</i>	120
5.1.5	<i>Escolha do método multicritério</i>	122
5.2	Aplicação numérica do modelo de priorização na bacia PCJ	130
5.2.1	<i>Estruturação do problema</i>	133
5.2.2	<i>Definição de alternativas</i>	135
5.2.3	<i>Definição dos critérios</i>	136
5.2.4	<i>Matriz de avaliação</i>	137
5.2.5	<i>Modelagem de preferência</i>	138
5.3	Resultados da aplicação do modelo	140
5.3.1	<i>Hierarquia de projetos com PROMETHEE II</i>	140
5.3.2	<i>Hierarquia de projetos com ELECTRE IV</i>	149
5.4	Conclusões sobre a aplicação do modelo	152

6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	154
6.1	Conclusões	154
6.2	Sugestões para Futuros Estudos	155
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	157
	APÊNDICE	171
	ANEXO.....	174

1 INTRODUÇÃO

Os investimentos na área de saneamento¹ são essenciais para o desenvolvimento da sociedade. Esta realidade é evidenciada por muitos países em desenvolvimento que pesquisam diferentes alternativas de projetos de saneamento para suprir a demanda. Não há recursos suficientes para garantir a execução de todos esses projetos ao mesmo tempo, de tal modo que é necessário elaborar um plano para definir a ordem de prioridade destes projetos (KARNIB, 2004).

Além disso, projetos de infraestrutura sanitária devem atender ao interesse de vários setores, entre os quais as comunidades, governo federal, distrital, estaduais e municipais, órgãos financiadores, companhias de saneamento, entre outros. Em muitas situações, a decisão pode ser fruto de questões políticas, sem que haja avaliações ou mesmo análises mais racionais. Nessas circunstâncias, a seleção baseia-se não no mérito do projeto escolhido, em razão do seu interesse político.

Nas últimas décadas, analistas desenvolvem modelos para auxiliar os agentes de decisão na avaliação e seleção de projetos. Chiavenato (1997) ensina que ao automatizar e racionalizar uma decisão, obtém-se um sistema bem estruturado, com o qual, em vez de lidar com situações imprevisíveis, é possível diagnosticar e solucionar problemas de forma analítica e objetiva.

A literatura é numerosa no que concerne aos modelos de avaliação de projetos: sejam eles métodos de pontuação, econômicos, financeiros, métodos de apoio à decisão (TAVANA, 2003). Métodos de pontuação utilizam fórmulas algébricas para graduar e classificar os projetos. Os métodos econômicos fazem uso de indicadores financeiros ou monetários, avaliando o retorno de cada projeto. Já os modelos de análise de decisão permitem a comparação entre projetos conforme valores esperados, preferências ou utilidades.

¹ O termo saneamento é composto por serviços de abastecimento de água, coleta e tratamento de esgoto, drenagem, gestão de resíduos sólidos. O estudo utiliza, para efeito de simplificação, saneamento em seu sentido restrito, ou seja, atividades de abastecimento de água e esgotamento sanitário.

Apoio à decisão multicritério (AMD) é uma área que contribui para resolver a priorização de projetos, pois auxilia na estruturação do problema e fornece condições de incorporar ao processo de decisão aspectos de naturezas diferentes: sociais, ambientais, econômicas.

Para Stagl (2006), estes métodos são bastante úteis para casos de decisões públicas, pois fazem o uso das informações de forma eficiente, tornando o processo mais transparente e facilitando a deliberação. Isto é possível, pois esses métodos consistem em modelos matemáticos que integram os valores e preferências dos decisores.

Em decorrência, este estudo propõe um modelo multicritério para apoiar as decisões de priorização de projetos em saneamento. As diretrizes estabelecidas pelo modelo proposto auxiliam a decisão por meio de uma sequência de conceitos, etapas e aplicação da metodologia multicritério. A contribuição da pesquisa consiste em estruturar a decisão pelas definições dos elementos do processo (intervenientes, alternativas potenciais, critérios, problemática), modelagem de preferência, escolha dos métodos multicritérios, sistemas de apoio à decisão, avaliação de resultados e análise de sensibilidade.

Após o desenvolvimento do modelo foi feita uma aplicação numérica para estudar o comportamento perante uma situação real. O estudo foi realizado no contexto de hierarquia de projetos para as bacias dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí (PCJ), o que propiciou uma análise detalhada da metodologia utilizada. Pretende-se com os resultados da pesquisa replicar o modelo em situações semelhantes de hierarquização de projetos de saneamento.

1.1 Relevância do estudo

O Estado possui a responsabilidade de garantir o atendimento de abastecimento de água e esgotamento sanitário para a sociedade. A área de saneamento encontra-se inserida em políticas públicas e seus empreendimentos são de grande repercussão social, pois possui impacto no meio ambiente, saúde e desenvolvimento urbano. Os esgotos urbanos são a principal fonte poluidora dos recursos hídricos que compromete outras atividades, como abastecimento de água, irrigação, pesca. Além disso, a falta de condições sanitárias absorve grande parte de recursos públicos.

O quadro institucional de saneamento no País é deficitário, falta um planejamento eficiente de ações e não há transparência na tomada de decisão para priorizar os investimentos. Além

disso, não há uniformidade na elaboração de planos em razão da grande quantidade de entidades envolvidas no setor - diversidade de prestadoras de serviços, unidades de fomento, órgãos municipais, estaduais e federais.

A dificuldade de planejamento é agravada por múltiplos fatores conforme apontado por Cordeiro Netto, Parent e Duckstein (1996): diferentes graus de incerteza; objetivos multidimensionais em ambiente complexo; dificuldade para determinar quais os reais decisores; estruturas sofisticadas de alternativas - combinações de ações elementares com diferentes horizontes de planejamento (curto, médio e longo prazo).

Atualmente, o planejamento para os serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário torna-se fundamental em virtude da escassez de recursos no Brasil, além da necessidade da distribuição adequada de tais serviços no intuito de diminuir desigualdades sociais. Deve-se, então, buscar nos projetos de saneamento um planejamento integrado.

Atualmente, verificam-se mudanças no contexto nacional, como é o caso da aprovação da Lei nº 11.445/2007, que introduz o embasamento legal e passa a contar com novas perspectivas de investimento por parte do Governo Federal. A legislação prevê diversos dispositivos relacionados a informação setorial e busca os seguintes princípios fundamentais: transparência das ações, por meio de sistemas de informações e processos decisórios institucionalizados.

Heller (2009) observa que, a rigor, no novo ambiente legal, não há propriamente novas atribuições para a União em relação ao locus político anterior à Lei nº 11.445/2007. Há mudanças, no entanto, para o plano dos deveres, pois são definidas as condições de contorno segundo as quais a política federal deve ser exercida, mediante a fixação de princípios e objetivos.

A Lei nº 11.445/2007 tem importante contribuição, pois passa a exigir dos poderes públicos setoriais a elaboração do Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB) e institui os objetivos do Sistema Nacional de Informações em Saneamento Básico (SINISA). Esses procedimentos têm a função de fortalecer a gestão e planejamento por meio de regulação, fiscalização, prestação de serviços e controle social.

Muitos são os projetos que fazem parte dos novos PMSB. Dessa forma, uma priorização de ações torna-se necessária. O novo contexto nacional, ainda, faz com que um processo

criterioso com metodologia apropriada e que promova racionalidade e transparência na decisão tenha importância significativa para a priorização de projetos de saneamento.

Pretende-se pela metodologia proposta subsidiar profissionais, gestores, técnicos, especialistas e estudiosos do setor para uma visão multicritério, para a gestão e as políticas públicas de saneamento básico. Assim, o planejamento passa a contar com informações precisas com objetivos bem definidos.

1.2 Questão de pesquisa

O grande desafio das políticas públicas é garantir melhorias sociais e qualidade ambiental na expansão dos serviços de abastecimento e esgotamento sanitário. Margulis et al (2002) argumentam que há fraco desempenho em muitos projetos de infraestrutura pública, constatando uma “cultura de investimentos” que se preocupa basicamente com aspectos financeiros e de Engenharia. Assim, a análise minuciosa dos objetivos do projeto é negligenciada. Os recursos são limitados para a área de saneamento, o que justifica maior atenção à capacidade de investimentos diferentes, de forma a contribuir para reduzir a pobreza e melhorar a qualidade do meio ambiente.

Ante tal realidade, pode-se estabelecer a principal questão de pesquisa: Como aprimorar a priorização de projetos em saneamento para garantir uma distribuição dos serviços de água e esgoto eficiente?

1.3 Objetivos da pesquisa

O objetivo geral desta pesquisa consiste em desenvolver um modelo multicritério de apoio à decisão para hierarquizar projetos de abastecimento de água e esgotamento sanitário.

Entre os objetivos específicos estão:

- examinar a questão do saneamento sob diversas dimensões (técnica, econômica, social, ambiental) para auxiliar na formulação do modelo proposto;
- assegurar que a decisão de hierarquia de projetos seja racional, estruturada e transparente;
- delinear as etapas do processo de decisão no contexto de saneamento;

- analisar técnicas de decisão em grupo em consonância com métodos multicritérios de apoio à decisão;
- modelar as preferências dos decisores sob diferentes cenários, assim como definir os métodos multicritérios mais adequados para o problema de hierarquia de projetos de saneamento;
- aplicar o modelo desenvolvido em uma situação de hierarquia de projetos de saneamento e analisar os resultados.

1.4 Organização do trabalho

O trabalho está organizado em seis capítulos, sendo que os de número dois e três formam a fundamentação teórica necessária para o desenvolvimento do modelo proposto de priorização de projetos em saneamento. O segundo capítulo discorre sobre o cenário de saneamento no Brasil, além dos fatores importantes para análise de projetos nessa área. Já o capítulo três apresenta todos os conceitos relevantes de apoio à decisão multicritério. Também é feito um estudo das principais aplicações relacionadas com o uso de metodologias multicritério de apoio à decisão na área de saneamento. Esta análise documental prioriza o estudo das publicações para descobrir situações similares com o tema em estudo em que são investigados os tipos de problemas de decisão, as metodologias empregadas e os critérios utilizados para a decisão.

No quarto capítulo busca-se descrever o método de pesquisa e está dividido em três partes: características da pesquisa, descrição das etapas da metodologia de apoio à decisão multicritério e planejamento da pesquisa. Esse segmento descreve a investigação, coleta e análise de dados, exibindo também todo o procedimento da metodologia multicritério.

O módulo cinco tem o propósito de descrever o modelo proposto, além de realizar a aplicação numérica deste. São mostrados os resultados e discussões da aplicação do modelo em uma situação de priorização de projetos para o Estado de São Paulo. O modelo foi aplicado nas bacias dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí. No último capítulo, expõem-se as considerações finais, onde estão as principais conclusões e os resultados da tese.

2 PROJETOS DE SANEAMENTO

Os projetos em saneamento exigem altos investimentos e, para garantir a prestação dos serviços, é necessário construir um sistema complexo de infraestrutura, como barragens, adutoras, redes coletoras, estações de tratamento de esgoto e outros. Além disso, obras dessa natureza normalmente têm vida útil superior a 50 anos, tornando-se necessária na concepção dos projetos a previsão de impactos para várias décadas. Assim, o planejamento torna-se instrumento primordial para o crescimento na área. Galvão Junior, Basilo Sobrinho e Sampaio (2010) dizem que o saneamento básico se caracteriza pela escassez de recursos para investimentos e pelo déficit no atendimento, sendo necessária uma cultura de planejamento para contribuir na melhoria da prestação dos serviços.

Na visão de Moraes (2009), planejar consiste em partir do estado presente do objeto para definir o estado futuro almejado. A circunstância presente é avaliada com base em um diagnóstico, que deve contar com a participação de sujeitos diferentes, como gestores, técnicos, sociedade civil e população em geral. Para a definição da circunstância futura pretendida, torna-se necessário o estabelecimento de princípios, diretrizes, objetivos, metas, programas e projetos.

Nessa perspectiva, pretende-se discorrer sobre as questões fundamentais de projetos de abastecimento de água e esgotamento sanitário para subsidiar o planejamento. No primeiro momento apresenta-se o panorama do setor de saneamento, com o intuito de fornecer informações sobre as condições de prestação de serviço de água e esgoto no Brasil. No segundo instante, são detalhadas considerações importantes relativas ao planejamento de projetos como fatores legais e regulatórios, ambientais e sociais, que vão auxiliar no processo de decisão em saneamento.

2.1 Panorama do saneamento no Brasil

O setor de saneamento teve crescimento significativo após a consolidação, início dos anos 1970, do Plano Nacional de Saneamento – PLANASA. Este plano destinou recursos para a criação das companhias de saneamento. De acordo com S. A. Faria e R. C. Faria (2004), a política pública de saneamento que vigorou no País teve como base o modelo da gestão

instituído pelo PLANASA (1971-1992). Esse modelo centralizava a política de abastecimento urbano de água e esgoto e tinha o Banco Nacional de Habitação (BNH) como órgão executor. Os recursos financeiros para o setor derivavam do Fundo de Garantia do Tempo de Serviço (FGTS), dos estados e dos municípios, de empréstimos externos junto a agências multilaterais de fomento e empréstimos internos.

No final dos anos 1980, o centralizado sistema PLANASA começou a apresentar baixo desempenho. O regime de tarifas não era mais apropriado em razão de um ambiente hiperinflacionário - os fundos para investimento estavam financeiramente debilitados com a inadimplência (MOTTA, 2004).

Importante contribuição para a informação do setor foi a criação, em 1995, do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS). Este sistema é responsável pela coleta e divulgação de informações no País sobre os serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário.

Um marco de suma importância ocorreu em janeiro de 2007, quando entrou em vigor a Lei nº 11.445, que fixa diretrizes e objetivos para a Política Federal de Saneamento Básico e condicionantes para a alocação de recursos públicos. Assim, o Plano Nacional de Saneamento Básico – PLAN SAB que tem a função definir de programas, ações e estratégia de investimento. Além disso, o País passou a contar com uma nova forma de investimento do Governo Federal, pelo Programa de Aceleração do Crescimento – PAC, com a finalidade de ampliar os serviços para todos os cidadãos.

No entendimento de Miceli (2008), o êxito do PAC em saneamento está condicionado a três fatores: primeiro, diz respeito à capacidade dos operadores no tocante ao gerenciamento da execução das obras; o segundo ponto relaciona-se à capacidade de aporte das contrapartidas necessárias; o terceiro, se refere à capacidade de os operadores gerirem adequadamente os novos empreendimentos com benefícios para a população.

A Lei nº 11.445 institui a elaboração do Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB), que devem ser elaborados nos níveis regionais do País. Este advento torna-se fundamental para o planejamento de saneamento no Brasil, que vem contribuir para o crescimento no setor. Segundo Galvão Junior, Basilo Sobrinho e Sampaio (2010), a relevância do novo instrumento diz respeito ao estabelecimento de regras claras relacionadas principalmente aos aspectos de

planejamento, regulação e fiscalização, controle social e prestação regionalizada (gestão associada).

Enfim, o contexto em que o País se configura é de um planejamento mais voltado para ampliação dos serviços de saneamento em todas as áreas. Dessa forma, pretende-se contribuir para que o processo de decisão seja direcionado conforme as necessidades setoriais e regionais do Brasil.

2.2 Níveis de atendimento de água e esgoto

No Brasil, verifica-se um deficit na prestação de serviços em saneamento. Os índices de atendimento dos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário no Brasil estão ainda distantes da meta pretendida e necessária. Mesmo com os investimentos realizados nas últimas décadas, persiste ainda uma demanda populacional significativa que não tem acesso aos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário, especialmente nos estratos sociais de baixa renda nos municípios pequenos, localidades e áreas rurais.

O Sistema Nacional de Informações de Saneamento coleta dados e indicadores em várias prestadoras de serviços de saneamento, o que é importante para estabelecer o diagnóstico nacional no setor. A tabela 2.1 mostra o índice de atendimento de água e esgoto, para o ano de referência 2009. Essa amostra corresponde à totalização dos dados referentes a 4.891 municípios atendidos com os serviços de água e 1.739 com os serviços de esgotos.

Tabela 2.1 - Níveis de atendimento com água e esgoto para o ano de 2009

Regiões	Índice de atendimento (%)				
	Água		Coleta de esgoto		Tratamento do esgoto coletado
	Total	Urbano	Total	Urbano	Total
Norte	58,5	73,5	6,2	7,7	15,7
Nordeste	69,7	91,4	19,7	26,5	33,0
Sudeste	90,6	97,7	68,2	73,7	41,3
Sul	85,9	97,0	34,4	40,5	32,9
Centro-oeste	89,0	96,7	46,5	51,4	44,2
Brasil	81,7	95,2	44,5	52,0	37,9

Fonte: BRASIL (2011, p. v)

Observa-se pela tabela 2.1 que há um deficit de 18,3 % de atendimento para o serviço de abastecimento de água para a população brasileira, enquanto 55,5 % da população não possuem serviço de coleta de esgoto. É notória a desigualdade regional para tais serviços. No caso de abastecimento de água, o menor índice corresponde à região Norte, cuja diferença supera 30 pontos percentuais, em comparação com o nível total de atendimento da região Sudeste. A diferença é ainda maior para os níveis de coleta de esgoto, cuja diferença de atendimento entre as regiões Norte e Sudeste ultrapassa 60%.

A diferença regional é identificada, também, quanto ao consumo médio *per capita* dos prestadores de serviços de água participantes dos SNIS em 2008 e 2009 (figura 2.1).

Figura 2.1 – Consumo médio *per capita* dos participantes do SNIS
Fonte: BRASIL (2011, p. ix)

A figura 2.1 mostra que o consumo médio *per capita* do País em 2009 foi de 148,5 l/hab.dia (litros por habitante por dia), sendo que as médias regionais resultaram em 139,5 l/hab.dia na região Norte, 114,4 l/hab.dia na região Nordeste, 170,4 l/hab.dia na região Sudeste, 138,1 l/hab.dia na região Sul e 143,7 l/hab.dia na região Centro-Oeste. O aumento do consumo médio regional na região Sudeste do País é significativo, mesmo com a ligeira diminuição no nível de consumo do ano 2008 para 2009.

Sob a perspectiva do Ministério da Saúde (2004), o Brasil apresenta imensos deficits, pois parcelas significativas da sua população não têm acesso aos benefícios do saneamento ambiental. Essa situação é visível tanto quando se comparam as regiões do País ou quando se cotejam áreas da maioria das grandes cidades, e está na base dos grandes diferenciais inter e

intrarregionais, intrarurbanos e urbano-rural, observados nas condições de vida e de saúde. As políticas de saneamento são identificadas como prioridades que poderiam reduzir esses imensos diferenciais, constituindo-se importante fator de equidade.

Vargas e Lima (2004) asseveram que as populações de baixa renda são as moradoras em assentamentos irregulares, concentrados nas periferias das cidades, não beneficiadas com os serviços de água e esgoto. Essa segregação socioespacial nas cidades configura-se como um dos principais obstáculos estruturais para melhor distribuição do abastecimento de água e esgotamento sanitário (REZENDE; HELLER, 2008).

Outro ponto importante a ser observado é que a dificuldade de planejamento uniforme nacional de saneamento está diretamente associada à grande quantidade de prestadores de serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário. Na pesquisa do SNIS, participaram as seguintes entidades prestadoras de serviços no ano de referência de 2009: 27 prestadoras regionais (companhias estaduais, prestadores que atendem a considerável número de municípios no mesmo estado, limítrofes ou não, uns dos outros), seis microrregionais (prestadores de atendem a dois ou mais municípios limítrofes uns dos outros no mesmo estado) e 1.031 prestadores locais (prestadores que atendem a município único).

Esses números refletem a diversidade de prestadoras de serviços de saneamento, fazendo com que não haja uniformidade na escolha de fatores e indicadores, e servem guiar a política de priorização dos investimentos em saneamento.

As pesquisas revelam que o Brasil ainda está muito distante de uma distribuição satisfatória dos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário, e o planejamento adequado para a distribuição dos serviços de saneamento significa melhoria da saúde pública e desenvolvimento socioeconômico. O planejamento adequado na política no saneamento deve ser feito para que as populações menos favorecidas sejam atendidas com serviços de água e esgoto.

2.3 Projetos em saneamento

O termo projeto, de origem latina, tem como significado “lançar para adiante”. Assim, sua finalidade é reunir informações para que seja previsto e estudar o desempenho do empreendimento no futuro. De acordo com Woiler e Mathias (1996), projeto é o conjunto de

informações internas e/ ou externas à organização, coletadas e processadas com o objetivo de analisar e implantar uma decisão de investimento.

O projeto incorpora informações qualitativas e quantitativas, procurando simular a decisão de investir e suas implicações. A preparação de um projeto requer análises administrativa, normativa, técnica e econômico-financeira. Isto implica que o gestor, antes de decidir, deve fazer uma avaliação cuidadosa para assegurar que o projeto proposto possa efetivamente alcançar os objetivos.

2.3.1 Projetos Públicos

Os projetos públicos surgem de planos globais ou setoriais de desenvolvimento e têm como objetivo apresentar os custos e benefícios para a sociedade. Assim, devem ser executados para servir à sociedade, consequentemente, não de ser avaliados de tal forma. Soares (1999) aponta que, pela perspectiva do setor público, o projeto pode ser entendido como a expressão física do planejamento em seus desdobramentos nacional e global, regional e setorial, permeados por ações políticas e administrativas das esferas federal, distrital, estaduais e municipais.

Campos (1995) diz que a condução hábil das discussões públicas tende a produzir melhores projetos e eliminar problemas que surgem quando o público se defronta com uma decisão já tomada. A imposição, mesmo de bons projetos, nem sempre é bem aceita e quando um projeto chega ao público pronto e acabado, perfeito, segundo idealizadores ou seus futuros construtores, produz, com justa razão, um sentimento de reação. Nessas circunstâncias, são realçados os pontos negativos do projeto e esquecidos seus pontos positivos. Em consequência, mesmo um bom projeto, quando mal conduzido em termos de participação pública, pode ter seu início bastante retardado ou mesmo inviabilizado.

Os projetos públicos estão intrinsecamente ligados à política pública nacional, regional ou municipal. Heller e Castro (2007) entendem como política pública o processo que envolve decisões por autoridades governamentais, composto por metas e meios para alcançá-las. Destacam-se neste passo, o dinamismo histórico-temporal da política pública, o protagonismo do governo e as metas e meios para o seu alcance.

Observa-se pela figura 2.2 que a gestão pública depende de um conjunto de fatores divididos na figura como condicionantes (políticas e programas, marco institucional e também legal) e as interfaces (saúde, ambiente, econômico-financeiro, entre outros). Na área de saneamento,

o poder concedente para abastecimento de água e esgotamento sanitário (concessionárias) deve garantir qualidade na prestação desses serviços e cumprimento dos instrumentos legais e contratuais.

Figura 2.2- Diagrama de relações entre dimensões políticas
Fonte: Heller e Castro (2007, p. 290)

As múltiplas interfaces de um projeto tornam complexa a decisão sobre o planejamento de projetos em saneamento. Essa decisão deve ser tomada em consonância com estudos técnicos, econômico-financeiros, sociais, ambientais, políticos e também legais. Nessa perspectiva, serão apresentados a seguir os aspectos importantes que vão auxiliar como instrumentos de avaliação dos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário.

Por meio de critérios ou indicadores, pode-se avaliar a qualidade do serviço, assim como definir as políticas públicas para priorização de projetos no setor. Os critérios relevantes para avaliação dos projetos de abastecimento de água e esgotamento sanitário foram classificados em áreas ou dimensões: técnica, econômico-financeira, ambiental, sanitária e social. Conforme Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2010), os indicadores devem ser vistos como um meio para se atingir o desenvolvimento sustentável e não como um fim em si mesmo. Esses indicadores são úteis quando analisados em seu conjunto, além do exame individual de cada indicador.

2.3.2 Dimensão técnica

A decisão em fazer investimento em infraestrutura é parte de um processo que envolve a geração e avaliação de opções de projetos que atendam a determinadas especificações técnicas. Após a seleção de alternativas tecnicamente viáveis, analisa-se quais opções são atrativas financeiramente (SOUZA; CLEMENTE, 2002). Os autores referem-se ao estudo de viabilidade técnica, seguido pela viabilidade econômico-financeira.

A escolha de projetos, em geral, pode significar empreendimento de grande porte (redes adutoras) e a exequidade dos projetos de abastecimento de água e esgotamento sanitário depende do cumprimento de muitas especificações técnicas, condições de segurança, durabilidade, desempenho da estrutura etc. No caso de projetos de grande porte, como os empreendimentos de saneamento, o estudo de viabilidade técnica é uma etapa imprescindível para priorização de projetos.

Os fatores técnicos abordados aqui estão relacionados com aspectos operacionais dos sistemas de abastecimento de água e esgotamento sanitário. Conforme Galvão Júnior e Silva (2006), os dados operacionais permitem avaliar a quantidade dos serviços prestados. Eles permitem avaliar o grau de atendimento e cobertura dos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário, além de identificar as demandas e ofertas que vão auxiliar na avaliação dos deficits dos serviços. Esta análise contribui para orientar a aplicação de recursos no setor.

Entre os indicadores operacionais, destacam-se o índice de abastecimento de água e o indicador de coleta de esgoto, cuja definição está representada em sequência (AROEIRA, 2009).

Índice de abastecimento de água (I_{ab})

Este índice é representado pela cobertura desses serviços. Pode ser calculado pela seguinte fórmula:

$$I_{ab} = \frac{Pa}{Pt} \quad (2.1)$$

onde Pa consiste na população da área considerada, atendida com coleta de esgotos, e Pt indica a população total da área considerada.

Indicador de coleta de esgoto (I_{ce})

Expresso pela relação entre a população atendida com ligação oficial de esgotos à rede pública de coleta em determinada área e a população total da área considerada.

$$I_{ce} = \frac{P_a}{P_t} \quad (2.2)$$

Sendo P_a referente à população da área considerada, atendida com coleta de esgotos, e P_t corresponde à população total da área considerada.

2.3.3 Dimensão econômico-financeira

A dimensão econômico-financeira, evidentemente, é fundamental para as entidades, pois a decisão de investimento, em muitos casos, está relacionada com a maximização de sua rentabilidade. Do ponto de vista econômico-financeiro, investir em um projeto depende do retorno esperado: quanto maiores são os ganhos futuros de certo investimento, tanto mais atraente o empreendimento parecerá para qualquer investidor.

Existem vários indicadores e técnicas financeiras utilizados para avaliar o desempenho econômico de um investimento. São exemplos: *payback*, valor presente líquido, taxa interna de retorno, análise custo-benefício. Alguns destes indicadores serão apresentados aqui.

Produto Interno Bruto (PIB)

O Produto Interno Bruto *per capita* indica o nível médio de renda da população em um país. Define-se como PIB a renda devida à produção dentro dos limites territoriais. Em outras palavras o produto nacional (renda que pertence efetivamente aos nacionais) mais a renda enviada para pagamento de fatores de propriedade de não residentes menos a renda recebida do exterior para o pagamento de fatores de produção de residentes é igual ao produto interno (PINHO; VASCONCELLOS, 2005).

Esse indicador é útil para sinalizar o estado do desenvolvimento econômico, em muitos aspectos e o estudo de sua variação informa sobre o comportamento da economia ao longo do tempo. O PIB *per capita* é normalmente utilizado como um indicador do ritmo de crescimento da economia. Assim, o crescimento indicado pode estar relacionado com a condição para a satisfação das necessidades humanas correntes, para o combate à pobreza,

diminuição do desemprego e para minorar outros problemas sociais (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2010).

Valor presente líquido (VPL)

Este indicador se refere à quantia pela qual o valor presente de uma série projetada de renda excede o custo de um investimento. O objetivo do valor presente líquido é determinar a viabilidade financeira de um projeto de investimento e é calculado pela equação:

$$VPL = -CF_0 + \sum_{j=1}^n \frac{CF_j}{(1+i)^j} \quad (2.3)$$

sendo CF_0 corresponde ao valor investido; CF_j ao valor dos benefícios esperados e j se refere a taxa de juros. A equação 2.3 indica que VPL é o ganho adicional obtido pelo projeto.

Taxa interna de retorno (TIR)

A taxa interna de retorno é definida como a taxa de juros igual ao valor presente com os custos do investimento.

$$TIR = \frac{\text{Lucro}}{\text{Investimento}} \quad (2.4)$$

Valdes et al (2004) estabelecem algumas desvantagens para aplicação de TIR em avaliação de projetos na área de recursos hídricos:

- é constante ao longo do período de vida de um projeto;
- valor positivo não indica que um projeto é socialmente rentável; e
- pode conduzir erroneamente a uma comparação de retornos entre projetos.

Na perspectiva do Ministério da Saúde (BRASIL, 2004), no caso de projetos de abastecimento de água a dimensão econômica visa: aumentar a vida média pela redução da mortalidade; aumentar a vida produtiva do indivíduo quer pelo aumento da vida média, quer pela redução do tempo perdido com doença; facilitar a instalação de indústrias, inclusive a facilitar o combate a incêndios. Já os projetos de esgotamento sanitário, sob os projetos devem visar: ao crescimento da vida média do homem, pela redução de casos de doenças; diminuição das despesas com tratamento de doenças evitáveis; à redução do custo de tratamento da água de abastecimento, pela prevenção de poluição de mananciais; ao controle da poluição das praias e dos locais de recreação com o objetivo de promover turismo; à preservação da fauna aquática, especialmente os criadouros de peixe.

Assim, conclui-se, no âmbito de saneamento que a visão econômica-financeira em muitas situações está estritamente relacionada às condições sociais e de saúde da população, sendo, portanto, avaliadas como tais.

2.3.4 Dimensão ambiental

Na avaliação de projetos, o impacto ambiental torna-se fator de grande importância porque além de beneficiar a sociedade, deve garantir qualidade do meio ambiente. Os efeitos negativos de deterioração do meio ambiente causados por um projeto podem desencadear, futuramente, outros serviços públicos para reparar os danos ocasionados pelos primeiros. Contador (1997) assevera que, em relação a muitos dos efeitos ambientais decorrentes de execução inadequada de projetos, cedo ou tarde, a coletividade terá que pagar um preço para tentar remediar as decisões erradas do passado.

A legislação brasileira, por meio da Resolução Conama 01 de 23 de janeiro de 1986, estabelece as definições, responsabilidades e diretrizes gerais para o uso e implantação da Avaliação de Impacto Ambiental (AIA). No seu Art. 1º, é definido impacto ambiental como qualquer forma de alteração das propriedades físicas, químicas ou biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante de atividades humanas que afetem direta ou indiretamente: a saúde, a segurança, e o bem-estar da população; as atividades sociais e econômicas; as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente e a qualidade dos recursos ambientais.

Sánchez (2008) aponta diversos tipos de ações humanas que implicam em impacto ambiental. Destacam-se algumas relacionadas com o tema em estudo.

1. Supressão de certos elementos do ambiente como:

- supressão de componentes do ecossistema, como a vegetação;
- destruição completa de habitat;
- destruição de componentes físicos da paisagem (por exemplo, escavações);
- supressão de elementos significativos do ambiente construído;
- supressão de referências físicas à memória (locais sagrados, cemitérios)

2. *Inserção de certos elementos no ambiente* como: introdução de componentes construídos (por exemplo, barragens, estações de tratamento de esgoto, lagoas de estabilização)
3. *Sobrecarga* (introdução de fatores de estresse além da capacidade de suporte do meio, gerando desequilíbrio) como:
 - o qualquer poluente (por exemplo os emissários).

Definir o grau de impacto ao meio ambiente é uma tarefa difícil, pois para medir a alteração ambiental é necessário um estudo técnico, além de juízo de valor dos decisores, o que implica em subjetividade. Para essa definição, impõe-se um diagnóstico ambiental com uma equipe multidisciplinar, e os resultados da previsão dos impactos devem conter informações sobre magnitude ou intensidade do impacto.

A Resolução Conama nº 1/86 dá diretrizes para a determinação dos atributos para análise de impacto ambiental. A classificação dos impactos é feita por: impactos benéficos ou adversos; impactos diretos ou indiretos; impactos imediatos, de médio ou longo prazo; impactos temporários ou permanentes; impactos reversíveis ou irreversíveis.

Especificamente, serão apontados alguns dos possíveis impactos causados por obras de abastecimento de água e esgotamento sanitário.

Impactos ambientais em projetos de abastecimento de água

A análise de projeto de projetos de abastecimento de água requer que sejam consideradas as seguintes condições: avaliação dos recursos hídricos disponíveis e seu uso multisetorial; avaliação da eficiência do uso da água nos projetos de abastecimento; planejamento do sistema segundo critérios ecológicos (BANCO DO NORDESTE, 1999).

A Resolução Conama nº 20/1986 classifica quais as águas superficiais que são adequadas ao abastecimento público. Além disso, encontram-se na Resolução Conama nº 55/1988 as especificações e critérios para o licenciamento ambiental de projetos de abastecimento de água. O Código Florestal estabelece exigências para que sejam protegidas as margens de cursos de água, lagos e represas (Lei nº 4.771/65).

Em projetos de abastecimento de água, é primordial o cumprimento de exigências em âmbito federal, distrital, estadual e municipal que podem ser pela Política Nacional de Recursos

Hídricos, Lei Estadual de Recursos Hídricos e o PMSB. O quadro 2.1 mostra o resumo dos impactos ambientais negativos com suas devidas medidas mitigadoras.

Quadro 2.1– Impactos ambientais potenciais para sistemas de abastecimento de água

Impactos ambientais potenciais	Medidas atenuantes
<ul style="list-style-type: none"> • Modificação dos cursos d'água • Alteração do balanço hídrico • Remoção da vegetação • Erosão das margens e assoreamento dos cursos d'água • Alteração da fauna e na flora aquática e terrestre • Rebaixamento do lençol freático 	<ul style="list-style-type: none"> • Implantar programas de proteção ambiental dos mananciais, mediante a recuperação e manutenção das matas ciliares, conservação dos solos e do planejamento territorial • Implantar sistema de medição e controle da qualidade e quantidade da água, permitindo a vigilância da contaminação • Análise e avaliação do uso atual das águas superficiais em toda a área dos mananciais de tal forma a adotar medidas preventivas e corretivas, legais e operacionais
<ul style="list-style-type: none"> • Riscos de danos à saúde pública por consumo de água contaminada, por falha no sistema de tratamento e/ou vazamento/infiltração na rede 	<ul style="list-style-type: none"> • Realizar controle sanitário em pontos estratégicos e críticos da rede
<ul style="list-style-type: none"> • Desperdício de água por falhas no sistema de distribuição 	<ul style="list-style-type: none"> • Implantar programas de prevenção do desperdício
<ul style="list-style-type: none"> • Contaminação do solo e de águas superficiais e subterrâneas, pela disposição inadequada do lodo e águas residuárias do sistema de tratamento (limpeza de filtros e decantadores) 	<ul style="list-style-type: none"> • Implantar tecnologia adequada para reutilização das águas de lavagem (residuárias) • Implantar sistema de disposição adequada do lodo do sistema de tratamento
<ul style="list-style-type: none"> • Alteração do fluxo de veículos e tráfego durante a implantação das obras 	<ul style="list-style-type: none"> • Informar a comunidade afetada e implantar sistema de sinalização adequado para minimizar riscos de acidentes
<ul style="list-style-type: none"> • Geração de poluição atmosférica (emissão de poeira) e ruídos durante a execução das obras civis e geração de ruídos na operação do sistema de captação e tratamento 	<ul style="list-style-type: none"> • Selecionar locais adequados para implantação dos sistemas de captação e tratamento, evitando proximidade de áreas populosas • Planejar corretamente a execução das obras, evitando horários inadequados dos trabalhos • Planejar a implantação dos equipamentos geradores de ruídos para áreas que não afetem a comunidade ou implantar isolamento acústico das fontes geradoras de ruídos dos sistemas de tratamento e captação. • Envolvimento da comunidade para conhecimento das obras e seus impactos ambientais potenciais
<ul style="list-style-type: none"> • Riscos de acidentes ambientais e de trabalho provocados por vazamentos de produtos químicos, em especial o cloro 	<ul style="list-style-type: none"> • Implantação de medidas de segurança na unidade de armazenamento, no laboratório e na unidade de tratamento. • Implantação da comissão interna de prevenção de acidentes
<ul style="list-style-type: none"> • Riscos de acidentes por falhas no sistema de bombeamento, adução ou reservação 	<ul style="list-style-type: none"> • Implantação de sistema de alerta e comunicação entre as unidades

Fonte: Banco do Nordeste (1999, p. 222)

Impactos ambientais em projetos de esgotamento sanitário

Os impactos negativos ambientais oriundos de esgotamento sanitários podem ser determinados conforme a quantidade de materiais contaminantes contidos no esgoto, compreendendo, principalmente: sólidos suspensos; sólidos dissolvidos; matéria orgânica e inorgânica, nutrientes, óleos e graxas; microorganismos patogênicos; e substâncias químicas tóxicas.

Não havendo tratamento, esse esgoto, ao ser lançado diretamente nos cursos d' água, as águas residuárias causam impactos ambientais bem significantes com riscos tanto ao meio ambiente como à população. Os impactos negativos dos sistemas de esgotamento sanitário devem ser previstos durante a elaboração e análise de projetos, para que sejam minimizadas certas consequências, como geração de poeira, ruídos e obstrução de vias e supressão da cobertura vegetal, que pode ocasionar alteração na qualidade de vida da população (BANCO DO NORDESTE, 1999).

Outro impacto a ser observado na operação de estações de tratamento de esgoto é a geração de odor durante o processo e no lançamento do efluente no corpo receptor. Este odor pode causar muita insatisfação da comunidade que habita próxima à Estação de Tratamento de Esgoto (ETE).

O quadro 2.2 mostra um resumo dos possíveis impactos ambientais causados por obras de esgotamento sanitário. O resumo é importante, pois traz medidas que podem ser feitas durante o planejamento dos projetos de saneamento e ações corretivas para as obras executadas.

Quadro 2.2– Impactos ambientais potenciais para sistemas de esgotamento sanitário

Impactos ambientais potenciais	Medidas atenuantes
<ul style="list-style-type: none"> • Modificação do equilíbrio hidrológico da bacia hidrográfica pela coleta de grandes áreas • Alterações no habitat da flora e fauna aquática durante a construção do sistema. 	<ul style="list-style-type: none"> • Avaliar, durante o planejamento a utilização de tecnologias de menor impacto, como por exemplo, sistemas regionais e comunitários de pequeno porte. • Planejar adequadamente a localização, processo de tratamento e lançamento dos efluentes, de forma a não comprometer a qualidade do corpo hídrico receptor; • Implantar sistema de monitoramento e acompanhamento das obras, em especial de erosão e sedimentação dos cursos de água durante as obras.
<ul style="list-style-type: none"> • Modificação temporária das condições de vida da população durante a execução das obras 	<ul style="list-style-type: none"> • Implantar programas especiais que envolvam a comunidade no conhecimento dos impactos e medidas atenuantes durante a execução das obras. • Adotar medidas que minimizem as interferências no fluxo de veículos, circulação de pedestres, geração de ruídos e de material particulado, durante a execução das obras.
<ul style="list-style-type: none"> • Produção de odores e ruído do processo de tratamento e de operação do sistema de eliminação de lodo 	<ul style="list-style-type: none"> • Planejar a localização das unidades compatíveis com o uso do solo regional, com tecnologia adequada e com sistema de eliminação e controle de odores.
<ul style="list-style-type: none"> • Comprometimento do solo, culturas agrícolas ou águas subterrâneas e/ou proliferação de vetores transmissores de doenças pelo manejo e eliminação de lodo 	<ul style="list-style-type: none"> • Realizar planejamento que assegure o uso de tecnologia para manejo, tratamento e destinação adequada do lodo considerando também a possibilidade de aplicação no solo e em cultivos agrícolas.
<ul style="list-style-type: none"> • Risco de acidentes devido à acumulação de gases na rede coletora 	<ul style="list-style-type: none"> • Estabelecer medidas de segurança e capacitação da equipe responsável pela manutenção da rede coletora
<ul style="list-style-type: none"> • Riscos de contaminação e comprometimento da saúde pública, devido ao vazamento ou (transbordamento) e a acumulação de esgoto bruto, ou ainda por falha no fornecimento de energia para o tratamento 	<ul style="list-style-type: none"> • Estabelecer programa de monitoramento e manutenção sistemática do sistema de coleta, bombeamento e tratamento, com a limpeza periódica da rede • Implantar sistema de alerta por falhas no sistema de bombeamento ou tratamento • Conscientizar a comunidade sobre os riscos de dispor resíduos sólidos na rede coletora • Implantar conjunto de geradores de energia (automáticos)
<ul style="list-style-type: none"> • Desmatamento de áreas para implantação das estações 	<ul style="list-style-type: none"> • Reflorestamento de áreas equivalente

Fonte: Banco do Nordeste (1999, p. 229)

2.3.5 Dimensão sanitária e social

No setor de saneamento, os aspectos sociais assumem papel significativo, visto que investimento está estritamente ligado com políticas públicas. A avaliação social propicia que sejam investigados os efeitos de um projeto sobre o desenvolvimento da sociedade. Sob o aspecto sanitário e social, os projetos de saneamento visam a: controlar e prevenir doenças,

facilitar a limpeza pública; propiciar conforto, bem-estar e segurança e aumentar a esperança de vida da população. Assim, os benefícios de um projeto podem ser estimados com suporte em indicadores sociais, como tamanho da população beneficiada, número de empregos gerados, mortalidade infantil, entre outros.

Indicadores sociais revelam a situação de determinada população, segundo diversos aspectos, pois servem também para realizar comparações entre regiões, estados e municípios. No estudo, as principais fontes de dados para análise social têm origem em pesquisas do IBGE, como as pesquisas censitárias, amostra de domicílios (Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios - PNAD), SNIS, entre outros.

Alguns autores conferem atenção especial aos indicadores epidemiológicos para representar os efeitos da insuficiência das ações de saneamento nos municípios, como nos casos de Costa et al (2005), Teixeira e Heller (2001), Id. (2003). Os autores destacam, como indicadores: mortalidade infantil, mortalidade e morbidade e índice de desenvolvimento humano (IDH). A seguir será procedido ao detalhamento de alguns indicadores que servem de apoio para a definição de critérios de decisão na dimensão social.

Índice de desenvolvimento humano (IDH)

Este indicador é revelado pela interação sob o ponto de três dimensões - longevidade, educação e renda - obtidas pelas variáveis com pesos iguais: expectativa de vida ao nascer, alfabetização de adultos, matrículas combinadas nos três níveis de ensino, produto interno bruto (PIB) *per capita*, cujos resultados são entre 0 e 1. O IDH para municípios (IDH-M) é calculado de forma diferente pelas seguintes alterações: substituição do PIB *per capita* pela renda familiar *per capita* média do município e mudanças nos valores-limite de cálculo dos índices parciais.

Diversos estudos indicam estreita relação entre saneamento e saúde. Libânio, Chernicharo e Nascimento (2005) constataam a importância da discussão das interfaces da gestão de recursos hídricos com setores dependentes de água de boa qualidade, indispensável à promoção da saúde pública. A correlação entre o IDH e a os serviços de saneamento é demonstrada pela análise conjunta de indicadores sociais e os serviços de saneamento no Brasil.

Taxas de mortalidade infantil

A taxa de mortalidade infantil consiste na relação entre o número de crianças que morrem entre zero e um ano de idade, sobre o total de crianças nascidas em determinado ano adotado como referência. Em geral, a taxa é expressa pela quantidade de crianças mortas para cada 1.000 nascimentos em que as crianças sobrevivem.

No Brasil, a grande dificuldade em evidenciar com precisão a taxa de mortalidade infantil está relacionada com a falta de informações a respeito dos nascimentos e mortes de crianças menores de um ano. Este fato é decorrente da falta de registro nos cartórios e registros civis, especialmente nas regiões rurais, pequenas cidades ou entre os grupos sociais de menor renda. Então, esta taxa deve ser estimada ou corrigida por meio de técnicas indiretas.

A importância deste indicador para a área de saneamento está relacionada ao fato da dependência de condições sanitárias suficientes como fator essencial para a sobrevivência para crianças menores de um ano.

2.3.6 Considerações legais e regulatórias

Este tópico tem como objetivo guiar sobre as questões regulatórias para a definição de projetos sanitários e do licenciamento ambiental para tais empreendimentos. Serão listadas algumas fontes de consulta sobre os recursos hídricos e feitas indicações para os serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário.

Conforme a Política Nacional de Recursos Hídricos, a Lei das Águas do Brasil (9.433, de 08/01/97) estabelece: a água é um recurso natural limitado, dotado de valor econômico e a gestão dos recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas.

A Lei 11.107/2005, Lei de Consórcios Públicos, vem permitir a gestão associada de serviços públicos, incluindo os de saneamento básico, em municípios contíguos que de forma voluntária, se consorciem. O PMSB, embora local, deverá ser elaborado com preocupação na dimensão regional, bem como manter estreita relação com as diretrizes estabelecidas nas políticas de saneamento básico, meio ambiente/recursos hídricos, desenvolvimento urbano/habitação e desenvolvimento agrário da unidade federada onde está situado.

A Lei 11.445/2007, em seu Art. 2º, diz que os serviços públicos de saneamento básico serão prestados com base nos seguintes princípios fundamentais: I - universalização do acesso; II - integralidade, compreendida como o conjunto de todas as atividades e componentes de cada um dos diversos serviços de saneamento básico, propiciando à população o acesso na conformidade de suas necessidades e maximizando a eficácia das ações e resultados; III - abastecimento de água, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo dos resíduos sólidos realizados de formas adequadas à saúde pública e à proteção do meio ambiente; IV - disponibilidade, em todas as áreas urbanas, de serviços de drenagem e de manejo das águas pluviais adequados à saúde pública e à segurança da vida e do patrimônio público e privado; V - adoção de métodos, técnicas e processos que considerem as peculiaridades locais e regionais; VI - articulação com as políticas de desenvolvimento urbano e regional, de habitação, de combate à pobreza e de sua erradicação, de proteção ambiental, de promoção da saúde e outras de relevante interesse social voltadas para a melhoria da qualidade de vida, para as quais o saneamento básico seja fator determinante; VII - eficiência e sustentabilidade econômica; VIII - utilização de tecnologias apropriadas, considerando a capacidade de pagamento dos usuários e a adoção de soluções graduais e progressivas; IX - transparência das ações, baseada em sistemas de informações e processos decisórios institucionalizados; X - controle social; XI - segurança, qualidade e regularidade; XII - integração das infra-estruturas e serviços com a gestão eficiente dos recursos hídricos.

A Resolução Conama nº 237, de 19/12/1997, que dispõe sobre a revisão e complementação dos procedimentos e critérios utilizados para o licenciamento ambiental, prevê que estão sujeitos ao licenciamento ambiental os empreendimentos e atividades listadas no Anexo 1 (Art. 2º, § 1º). No caso do saneamento básico são:

- estações de tratamento de água
- interceptores, emissários, estação elevatória e tratamento de esgotos
- tratamento e destinação de resíduos sólidos urbanos

A Resolução Conama nº 05, de 15/06/1982, dispõe sobre o licenciamento de obras de saneamento, enquanto a Resolução Conama nº 237/97 dispõe sobre procedimentos e critérios, e define competências para a realização do licenciamento ambiental nos três níveis de governo, com base na abrangência dos impactos.

No anexo desta Resolução encontram-se listadas atividades passíveis do licenciamento ambiental, tais como estações de tratamento de água, interceptores, emissários, estação elevatória e de tratamento de esgotos, destinação de resíduos sólidos urbanos, inclusive aqueles provenientes de fossas, recuperação de áreas contaminadas ou degradadas. Além disso, a Resolução nº 377, de 09/10/2006, dispõe sobre licenciamento ambiental simplificado de sistemas de esgotamento sanitário.

3 APOIO À DECISÃO MULTICRITÉRIO

O processo de estruturação da decisão pode ter origem no século XVIII, fato relatado por Bana e Costa, Stewart e Vansnick (1997), como também em Hammond, Keeney e Raiffa (2001). Os autores referenciam a carta de Benjamin Franklin para Joseph Priestly em 19 de setembro de 1772. A carta descreve o método em que Franklin (*apud* HAMMOND; KEENEY; RAIFFA², 2001, p. 45) denominava de álgebra moral ou prudente. Esse método de sua autoria propõe um modelo de trocas entre alternativas e nos trechos dessa carta percebem-se características do processo de decisão:

[...] para superar casos difíceis como esse, minha saída é dividir uma folha em duas partes; escrever os prós na primeira parte e os contras na segunda. Eu anoto as indicações das diferentes razões que me ocorrem em horas distintas, contra ou a favor da medida. Quando tenho todos eles juntos em uma única visão, esforço-me para calcular seus respectivos pesos. Se eu julgar duas razões contra equivalentes a quaisquer três razões pró, elimino as cinco; procedendo dessa maneira eu posso, por fim, saber onde está a ponderação; e se depois de um dia ou dois de consideração, nada de novo que seja importante aparecer em qualquer um dos lados, chego à decisão final.

Benjamin Franklin propôs um ótimo método para simplificar um problema complexo. De acordo com sua sistemática, na medida em que se eliminava um item de sua lista de prós e contras, o problema original era então substituído por um equivalente, chegando, finalmente a uma escolha (HAMMOND; KEENEY; RAIFFA, 2001).

Nessa correspondência verificam-se duas fases da metodologia de apoio à decisão multicritério: estruturação e avaliação do problema. No momento em que ele lista todas as ações separando os prós e contras é a fase de estruturação do problema. Já a fase de avaliação ocorre quando são realizadas as compensações entre os prós e os contras. Bana e Costa, Stewart e Vansnick (1997) expressam que o documento expõe também conceitos relevantes

² Franklin, Benjamin. The Complete Works of Benjamin Franklin. Editado por John Bigelow and Henry Bryan Hall. New York: G. P. Putnam's Sons, 1887-1888.

ainda hoje utilizados pela metodologia, como: critérios conflitantes, incerteza, comparações par a par, julgamentos de valor, compensações, pesos, agregações.

Um marco importante para análise de decisão registrou-se em 1969, durante o VII Simpósio de Programação Matemática, quando Roy apresentou uma seção sobre a organização de funções de múltiplos objetivos. Segundo Tsoukiàs (2008), o marco para a teoria da decisão ocorreu em 1976, quando os autores Keeney e Raiffa publicaram um livro expandindo a teoria da decisão com a presença de múltiplos critérios. Após a década de 1970, começaram a surgir métodos voltados para problemas de decisão com múltiplos critérios com abordagens diferenciadas.

O interesse pelo estudo do processo decisório fez com que houvesse evolução significativa neste tema, com avanço nos modelos existentes assim como o desenvolvimento de outros modelos. Zopounidis e Doumpos (2001) garantem que os modelos possibilitam que agente de decisão faça análise da decisão de forma precisa, além disso, força com que haja um ganho significativo na capacidade de discernir a natureza real das informações relativas às preferências implícitas dos atores.

Gomes, Araya e Carignano (2004) definem apoio multicritério à decisão (AMD) como a atividade daquele analista que, baseado em modelos claramente apresentados, ajuda na obtenção de elementos de resposta às questões de um decisor no decorrer de um processo. Esses elementos têm como objetivo esclarecer cada decisão e, normalmente, recomendá-la ou, simplesmente, favorecê-la.

No entendimento de Zopounidis e Pardalos (2010), nos anos recentes, observou-se crescimento na análise multicritério nas seguintes áreas:

- desenvolvimento teórico por meio de novas técnicas ou aprimoramento dos modelos de decisão já existentes;
- integração entre metodologias multicritério e Sistemas de Apoio à Decisão (SAD);
- aplicações inovadoras em áreas distintas como gestão, economia e finanças, gestão ambiental, planejamento energético, telecomunicações, transportes etc; e
- exploração de formas de interação com outras disciplinas como inteligência artificial, análise de conjuntos nebulosos (*fuzzy set theory*), computação evolutiva (*evolutionary computation*).

Nesse âmbito, pretende-se fornecer neste capítulo toda a fundamentação teórica necessária para o entendimento da metodologia de apoio à decisão multicritério. O capítulo é composto pela descrição do processo decisório, os parâmetros que envolvem a estruturação do processo decisório, os métodos multicritérios utilizados no modelo de priorização proposto. No final do capítulo, têm-se as aplicações revisadas na literatura, que consideram os temas relevantes relacionados com saneamento: metodologias multicritério, priorização de projetos e decisão em grupo com múltiplos critérios.

3.1 Processo de decisão multicritério

As decisões são tomadas quando se escolhe realizar ou deixar de fazer algo e fazem parte de situações diversas, sejam no âmbito local, regional ou nacional. Geralmente, essas decisões estão relacionadas com planos de crescimento, políticas de desenvolvimento regional, execução de estratégias e inúmeros outros fatores (ROY, 1996).

O problema de decisão de múltiplos critérios se caracteriza por apresentar pelo menos dois objetivos que não podem ser combinados. Matematicamente, este tipo problema pode ser expresso da seguinte forma:

$$\text{Max } \{f_1(a), \dots, f_k(a) \mid a \in K\} \quad (3.1)$$

Onde K é um número finito de ações e f_i , $i = 1, \dots, k$ os critérios a serem maximizados, e cada critério é uma aplicação de K em $\mathbb{R}$. Não há solução ótima deste problema, pois os objetivos são conflitantes e não há como estabelecer *tradeoffs* ou compensações entre os objetivos (GIULIANO, 1985).

Na visão de Bana e Costa (1988), o processo decisório pode ser dividido em duas fases: uma de análise do sistema em estudo, conducente à identificação, caracterização e hierarquização dos principais intervenientes e a explicitação das alternativas de decisão potenciais, que se pretendem comparar entre si; a outra fase, de avaliação propriamente dita no sistema, que pode ser denominada de síntese, tem a finalidade de esclarecer a escolha, recorrendo à aplicação de métodos multicritério para apoiar a modelagem das preferências dos atores e sua agregação.

Além desta perspectiva, o processo de apoio à decisão é exemplificado por Belton e Stewart (2002) conforme a figura 3.1 em que se identificam as variáveis do processo decisório. Esta ilustração representa os estágios da metodologia desde o reconhecimento do problema até o desenvolvimento do plano de ação com os resultados obtidos. Os autores descrevem três das seis fases como:

- Estruturação do problema – é a fase que tem como característica o pensamento divergente, o seu intuito é ampliar, investigar e comprovar o grau de complexidade do problema.
- Construindo o modelo – modalidade em que apresenta uma forma convergente de pensar. O processo consiste em extrair uma representação a essência da questão. Essa representação visa agregar detalhes e informações mais precisas do problema.
- Utilizando o modelo para informar – essa é a fase de síntese sobre os resultados obtidos. Deve-se optar pelo pensamento criativo sobre as opções selecionadas.

Figura 3.1 – Processo apoio multicritério à decisão
Fonte: Adaptado de Belton e Stewart (2002, p. 6)

Na estruturação do problema, é necessário conhecer a influência do ambiente externo, as condições de incerteza e os valores distintos dos atores da decisão. Nessa fase, são analisadas também as alternativas e objetivos a serem atingidos. No momento em que ocorre a construção do modelo, são estudados os critérios, as consequências das alternativas e os valores e preferências são modeladas. As análises dos resultados, assim como suas ações posteriores, fazem parte da utilização do modelo para informar.

Vale ressaltar que as etapas e sequência da metodologia multicritério foram exploradas no capítulo de método de pesquisa. São importantes as definições de todos os elementos de decisão para estruturação e construção do modelo, conforme está na sequência.

3.1.1 Elementos do processo de tomada de decisão

No intuito de evoluir com a modelagem do processo de tomada de decisão, é preciso conhecer todos os componentes de um processo de decisão. Os intervenientes do processo são os atores, agentes de decisão e analista. Além destes, têm-se os componentes, que são as alternativas, critérios, tipos de problemáticas.

Atores

São indivíduos, entidades ou grupo de pessoas que têm interesse na decisão a ser tomada, pois estão envolvidos direta ou indiretamente pelas consequências da decisão. Nas decisões públicas, os atores compreendem as comunidades ou cidadãos que pagam impostos, o governo, entre outros.

Decisor ou agente de decisão

É formado por um indivíduo ou grupo de indivíduos que possui o mais importante papel no processo de tomada de decisão. Sua função consiste em avaliar as alternativas do problema, de acordo com sua relação de preferência.

Analista ou especialista

O analista ou consultor em multicritério é formado por uma pessoa ou equipe especialista em tomada de decisão e tem como função auxiliar no processo decisório. O analista possui a atribuição de sistematizar o processo e modelar as preferências.

Pode-se distinguir o analista do facilitador, pois, enquanto o analista é especialista na metodologia multicritério, o facilitador contribui para o processo, auxiliando no esclarecimento, negociação e comunicação. O facilitador também pode contribuir na busca de informações para o analista.

Alternativas ou ações potenciais

Denominam-se alternativas ou ações potenciais conjunto de opções possíveis em que o decisor irá fazer a sua escolha. Classificam-se as ações em quatro tipos:

- reais – ações executadas, ou seja, são aquelas que se concretizam;
- fictícias – ações ainda não formalizadas, por exemplo, podem ser opções de projetos apenas idealizados;
- realista – caracteriza-se por ser um projeto viável de execução; e
- irrealista – compreendem os projetos cuja execução não é viável.

Uma ação potencial é real ou fictícia, quando é provisoriamente julgada como realista por pelo menos um ator, ou assumida como tal pelo analista. O conjunto de ações potenciais sobre as quais o sistema de apoio à decisão se firma, durante determinada fase do estudo, será denominado de A.

As ações potenciais podem, ainda, serem classificadas em globais e fragmentadas. Uma ação potencial é denominada global quando não exclui as demais, caso essa situação não ocorra, a ação é denominada como fragmentada.

Pereira et. al. (1994) dizem que o problema da geração de alternativas está relacionado com quatro características:

- múltiplos atores com visões diferentes do problema;
- aspectos do problema envolvem várias informações e fazem com que haja a necessidade de criação de escalas para comparação entre os critérios;
- diferentes técnicas de agregação de informações; e
- o algoritmo utilizado para a solução do problema deve ser útil e eficiente.

Os pontos de dificuldades destacados pelos autores para geração de alternativas estão expostos na figura 3.2. A incerteza no que diz respeito à ponderação dos critérios está ligada à diversidade de informações do problema e variadas técnicas de agregação de preferências.

Figura 3.2 – Geração de alternativas
 Fonte: Adaptado de Pereira et al (1994, p. 41)

Deve-se atentar para a quantidade de alternativas do problema. Grande número de alternativas resulta no aumento de complexidade da decisão, portanto, com maiores compensações que o decisor precisa fazer.

Critérios ou atributos

Em muitos problemas de decisão há mais de um objetivo a ser atingido - estes são denominados de critérios ou atributos. Os critérios são utilizados como parâmetros de avaliação para o conjunto de alternativas.

Vale salientar que os critérios podem abranger naturezas subjetivas ou objetivas. A subjetividade dos agentes de decisão condiz com as percepções individuais e devem ser consideradas no processo de decisão com o auxílio do analista. É fundamental que o modelo traduza as reais preferências do decisor (TSOUKIÁS, 2008).

Escalas

Os critérios de decisão podem ter caráter quantitativo ou qualitativo e a natureza destes pode ser bastante heterogênea. Abreu e Stephan (1982) acentuam que é primordial compreender quais são as características das escalas, o que pode ou não ser feito com elas, uma vez que cada tipo de escala possui um conjunto de hipóteses subjacentes no tocante à correspondência com o mundo real.

A avaliação das escalas tem como propósito graduar um fator e são utilizadas para quantificar critérios ou atributos, ou quaisquer fatores que possam ser ordenados de forma qualitativa ou quantitativa. Encontram-se, em geral, quatro tipos de escalas de medida, delineadas na sequência.

Escala nominal - tem como propriedade o agrupamento de elementos para formação de determinados conjuntos aos quais se atribuem nomes. Nessa escala não se consegue efetuar operações aritméticas. Vale ressaltar que o uso deste instrumento se torna muitas vezes limitado visto que fica difícil estabelecer uma ordem entre os conjuntos.

Escala ordinal: permite que os seus elementos obedeçam a uma ordem predefinida. Em geral os seus valores aparecem como numerais (1,2,3...), ranking (1º, 2º, 3º,...), ou mesmo nomes que representem ordenação como: alto, médio e baixo.

Escala intervalar: é atribuída por transformação linear ou escala linear. Uma escala de transformação linear positiva é definida pela fórmula $y = ax + b$, onde $a > 0$. Pode-se utilizar esta fórmula na escala intervalar mais comum, a temperatura.

São também consideradas como escalas de intervalos às funções utilidades, definidas no sentido de Von Neuman e Morgensten, e, por essa razão, prestam-se à maior parte das medidas estatísticas: média, desvio-padrão, coeficiente de correlação, etc. Apenas os cálculos implicando o uso de razões não podem ser aplicados (ABREU; STEPHAN, 1982).

Escala de razão ou cardinal: é uma quantificação produzida a partir da identificação de um ponto zero fixo e absoluto, representando de fato, um ponto de nulidade, ausência e/ ou mínimo. Têm-se como exemplo: idade, o peso, o preço.

Matriz de avaliação

A matriz de avaliação ou matriz de decisão tem como finalidade mostrar, na forma de tabela, a relação entre as alternativas para os n critérios de avaliação. Supondo que a_{ij} represente a avaliação de cada ação a_i pertencente ao conjunto de ações potenciais A , segundo o critério g_j , pode-se então construir a tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Matriz de avaliação

Crítérios→	g₁	g₂		g_n
Alternativas↓				
A₁	a ₁₁	a ₁₂		a _{1n}
.....				
A_m	a _{m1}	a _{m2}	a _{mj}	a _{mn}

Fonte: elaboração própria

A matriz de avaliação consiste no resultado final da estruturação do problema multicritério e nela é possível identificar de forma simples os desempenhos das alternativas para cada critério. Sua composição permite a evolução da metodologia multicritério conforme as características do método escolhido.

3.1.2 Tipos de problemáticas

Durante a estruturação do processo decisório, é primordial compreender o tipo de problemática em que a decisão está inserida. O tipo de problemática vai direcionar a escolha do método multicritério a ser utilizado. Roy (1996) estabelece quatro tipos de problemáticas:

Problemática de seleção (P_α) - Nesta problemática seleciona-se a melhor alternativa ou subconjunto de alternativas, ou seja, procura-se encontrar um subconjunto A' dentro do conjunto A. Os elementos de A são comparados entre si, de modo a eliminar o maior número de ações possíveis, e como resultado obtém-se a alternativa ou o subconjunto selecionado.

Problemática de classificação (P_β) - Sua função é alocar cada ação conforme uma classe ou categoria. As alternativas são classificadas de acordo com normas estabelecidas e o resultado do processo está na organização ou triagem das ações.

Problemática de hierarquia (P_γ) - Tem como objetivo ordenar as ações; para isso, busca-se definir um subconjunto de A conforme uma hierarquia. Em outras palavras, consiste em estabelecer uma ordem para cada ação contida nesse subconjunto.

Problemática descritiva ($P\delta$) - Tem por finalidade descrever e relatar as consequências das ações do conjunto A. As ações são organizadas com todas as informações necessárias para que o decisor possa compreender melhor as características de cada ação.

Vale ressaltar que é possível fazer uso de mais de um tipo de problemática em um problema multicritério. Assim, é preciso ter segurança para o tipo de problema abordado, pois, em alguns casos, é possível obter a problemática $P\gamma$ para resolver problemas do tipo $P\alpha$ ou $P\beta$.

A figura 3.3 mostra as quatro problemáticas. É importante observar que na figura a problemática de seleção tem como resultado final apenas uma ação, no entanto, conforme definição anterior, o resultado pode ser um subconjunto de alternativas.

Figura 3.3 – Tipos de problemáticas
Fonte: Adaptado de Doumpos e Zopounidis (2002, p. 3)

3.1.3 Análise de sensibilidade

O procedimento de análise de sensibilidade consiste em estudar mudanças nas alternativas ou resultados obtidos pela hierarquia. Esta análise tem a finalidade de avaliar a velocidade com que uma solução se degrada a um nível predeterminado (GOMES, L.; GOMES; GOMES, F.; ALMEIDA, 2002).

No caso do problema multicritério, a solução encontrada pode apresentar:

- estabilidade fraca se, após a análise de sensibilidade, a melhor solução permanece dentro do conjunto de soluções não dominadas;
- estabilidade forte se, após análise de sensibilidade, o conjunto de soluções não dominadas não se altera.

Baltar e Cordeiro Netto (1998) dizem que a informação sobre a análise das alternativas deve ser organizada e interpretada de forma que forneça indicadores de sensibilidade ou estabilidade da solução proposta.

3.2 Modelagem de preferência

A modelagem de preferência tem como propósito estudar a relação de preferência ou desejabilidade do decisor diante de duas ações potenciais. O termo preferência é usualmente designado quando as comparações entre as alternativas são feitas por via de relações binárias. Na perspectiva de Bouyssou et al (2000), é a modelagem de preferência que trata com o significado dos dados no contexto da decisão. Essa modelagem tem a função não só transformar em preferência informações, mas consegue lidar com situações de incertezas. Além disso, o procedimento permite incorporar ao modelo informações subjetivas do decisor.

A modelagem de preferência, em geral, ocorre por meio de relações binárias. Roy (1996) diz que uma relação binária está associada a duas ações e descreve a presença ou ausência de determinada propriedade.

A relação binária S no conjunto A , cuja notação é aSb , para $(a,b) \in S$, é definida por Bouyssou e Pirlot (2005) como:

- reflexiva se $[aSa]$;
- irreflexiva se $[\text{não } aSa]$;
- simétrica se $[aSb \text{ ou } bSa]$;
- assimétrica se $[aSb] \rightarrow [\text{não } bSa]$;
- transitiva se $[aSb \text{ e } bSc] \rightarrow [aSc]$, para todo $a, b, c \in A$.

Vincke (1992) define que o sistema de preferência de uma ação a em relação à ação b se manifesta sob três situações: preferência (P), indiferença (I) e incomparabilidade (R). Diz-se que a é preferível a b pela notação: $a P b$; caso a seja indiferente a b , têm-se: $a I b$; e, para a situação em que as duas alternativas são incomparáveis, utiliza-se: $a R b$.

As relações de preferência e suas definições são visualizadas no quadro 3.1, conforme o preceito de Roy (1996). As quatro relações básicas de preferência foram ampliadas para cinco situações, denominadas relações consolidadas de preferência (quadro 3.2).

Quadro 3.1 - Relações básicas de preferência

Situação	Definição	Relação Binária
Indiferença (I)	Corresponde à existência de razões claras e objetivas que justifiquem a equivalência entre duas ações.	I: Reflexiva $a I a$ e Simétrica $a I b \Rightarrow b I a$
Preferência Estrita (P)	Corresponde à existência de razões claras e objetivas que justifiquem uma preferência significativa em favor de uma das duas ações.	P: assimétrica $a P b \Rightarrow b P a$
Preferência Fraca (Q)	Corresponde à existência de razões claras e positivas que invalidem a preferência estrita em favor de uma das duas ações, mas essas razões são insuficientes para deduzir uma preferência estrita em favor da outra, seja uma indiferença entre essas duas ações, portanto não é possível diferenciar nenhuma das duas situações.	Q: assimétrica $A Q b \Rightarrow b P a$
Incomparabilidade (R)	Corresponde à ausência de razões claras e positivas para justificar qualquer das três situações precedentes.	R: simétrica

Fonte: Adaptado de Roy (1996, p. 87)

Quadro 3.2 – Relações consolidadas de preferências

Situação	Definição	Relações Binárias
Não preferência	Corresponde à ausência de situações claras e objetivas para justificar a preferência fraca em favor de uma das ações e, portanto, consolida as situações de indiferença ou de incomparabilidade, sem ser capaz de diferenciação entre elas.	$\sim \Rightarrow a I b$ ou $a R b$
Preferência	Corresponde à existência de razões claras e positivas que justifiquem a preferência fraca em favor de uma das duas ações, e, portanto, consolida as situações de preferência estritas e preferência fraca, sem, no entanto, ser capaz de diferenciação entre elas.	$\Leftarrow \Rightarrow a P b$ ou $a Q b$
J – Preferência (presunção de preferência)	Corresponde à existência de razões claras e objetivas que justifiquem a preferência fraca, sem se preocupar o quão fraca em favor de uma das duas ações, embora não exista nenhuma divisão significativa estabelecida entre as situações de preferência e indiferença.	$J \Rightarrow a Q b$ ou $a I b$
K – Preferência	Corresponde à existência de razões claras e positivas que justifiquem a preferência estrita em favor de uma das duas ações, ou a incomparabilidade entre elas, embora não exista nenhuma divisão significativa estabelecida entre situação de preferência estrita e incomparabilidade.	$K \Rightarrow a P b$ ou $a R b$
Sobreclassificação (<i>Outranking</i>)	Corresponde à existência de razões claras e objetivas que justifiquem tanto preferência ou a J - preferência em favor de uma das duas ações, embora não exista nenhuma divisão significativa estabelecida entre as situações de preferência estrita, preferência fraca e indiferença.	$S \Rightarrow a P b, a Q b$ ou $a I b$

Fonte: Adaptado de Roy (1996, p. 94)

Na teoria clássica de decisão, prescrevem-se apenas duas situações de preferência: a indiferença e a preferência estrita. As situações de incomparabilidade ou de preferência fraca entre duas ações potenciais são tratadas como se não houvesse qualquer relação ou, então, aproximadas para situações de indiferença e preferência estrita. Nesse caso, Roy (1996) indica que o analista deve evitar julgar em nome do agente de decisão nas situações em que o decisor apresenta o seguinte comportamento:

- o tomador de decisão não é capaz de decidir – casos em que os dados são subjetivos ou mal coletados em que pode ocasionar um julgamento ineficiente;
- não há condições de decisão – o analista pode não saber a real preferência do tomador de decisão; este pode estar ausente ou inacessível;
- o tomador de decisão não quer decidir – no momento em que se comparam duas ações potenciais, deve-se ponderar as vantagens e desvantagens de uma ação a sobre b sem negligenciar os elementos comuns às duas alternativas.

3.2.1 Estruturas de preferências

De acordo com as relações binárias e suas propriedades expostas, devem ser conhecidas as principais estruturas de preferência sobre o conjunto de alternativas. Isto apoia a modelagem do processo e é indispensável para identificação do método multicritério de sobreclassificação a ser utilizado. Os conceitos sobre o tipo de estrutura são definidos conforme os ensinamentos de Vincke (1992).

Pré-ordem completa: manifesta-se quando um par de relações binárias (a, b), em um conjunto de ações potenciais A , corresponde à noção intuitiva de classificação em que há possibilidade de empate por similaridade. Essa estrutura apresenta as seguintes propriedades: a e b são exaustivas e mutuamente excludentes; b é assimétrica e transitiva; e a é simétrica e transitiva.

Ordem completa: ocorre quando um par de relações binárias (a, b), em um conjunto A de ações potenciais, corresponde à noção intuitiva de classificação sem a possibilidade de empate por similaridade.

Semiordem: existe um limiar no qual o decisor não consegue explicitar a diferença ou se recusa a declarar a preferência na relação binária.

Ordem de intervalo: tipo de estrutura em que apresenta um limiar que varia ao longo da escala de valores. Representa-se este tipo de estrutura da seguinte forma:

$$\forall a, b \in A \quad a P b \leftrightarrow g(a) > g(b) + q(g(b)) \quad (3.2)$$

$$a I b \leftrightarrow g(a) \leq g(b) + q(g(b)) \quad (3.3)$$

$$g(b) \leq g(a) + q(g(a)) \quad (3.4)$$

Pseudo-ordem: apresenta um limiar de indiferença (q) no qual é clara a indiferença, e um limiar de preferência (p), em que não há dúvida sobre a preferência entre uma relação binária.

$$\forall a, b \in A \quad a P b \leftrightarrow g(a) > g(b) + q(g(b)) \quad (3.5)$$

$$a Q b \leftrightarrow g(b) + p(g(b)) \geq g(a) > g(b) + q(g(b)) \quad (3.6)$$

$$a I b \leftrightarrow g(b) + q(g(b)) \geq g(a) \quad (3.7)$$

$$g(a) + q(g(a)) \geq g(b) \quad (3.8)$$

Além dos tipos de estruturas de preferência ora apresentados, Vincke (1992) considera as seguintes estruturas que aceitam incomparabilidade:

Pré-ordem parcial - ocorre quando os elementos de um subconjunto A podem ser ordenados do “melhor” ao “pior”, sem eventual ligação. A pré-ordem parcial apresenta as seguintes propriedades:

$$\begin{aligned} \forall a, b \in A \quad a P b \text{ e } b P c &\rightarrow a P c: P \text{ é transitivo} \\ a I b \text{ e } b I c &\rightarrow a P c: P \text{ é transitivo;} \\ a P b \text{ e } b I c &\rightarrow a P c \\ a I b \text{ e } b P c &\rightarrow a P c \end{aligned}$$

Nesse caso, existe uma função g que:

$$a P b \rightarrow g(a) > g(b) \quad (3.9)$$

$$a I b \rightarrow g(a) = g(b) \quad (3.10)$$

Ordem parcial - aqui se revelam as mesmas propriedades da estrutura de semiordem completa, mas, nesse caso, aceitam-se situações de incomparabilidade.

Ordem de intervalo parcial: essa estrutura é semelhante à ordem de intervalo com a permissão de incomparabilidade.

Em correspondência com as estruturas de preferência, pode-se ampliar a definição no que diz respeito aos critérios ou atributos como uma função g é definida no conjunto A, que atribui valores de ordenação para esse conjunto, representa as preferências do decisor segundo o seu ponto de vista (VINCKE, 1992). Os critérios são então classificados segundo a estrutura de preferência em:

- verdadeiro critério, se a estrutura de preferência for uma pré-ordem completa;
- semicritério, se a estrutura de preferência for a uma semiordem;
- critério de intervalo, se a estrutura de preferência for uma estrutura de intervalo;
- pseudocritério, caso a estrutura de preferência seja uma pseudo-ordem.

3.2.2 Relação de dominância

Na concepção de Vincke (1992), a relação de dominância de duas ações a e b do conjunto A ocorre quando a domina b (aSb) se e somente se: $g_j(a) \geq g_j(b)$, sendo: $j = 1, 2, \dots, n$ em que ao menos uma das inequações é de estrita preferência. A relação de dominância de a em b

estabelece uma ordem parcial estrita, sendo também determinada a relação como assimétrica e transitiva. Se a domina b , têm-se que a é superior a b em todos os critérios do problema.

Uma ação a é eficiente, se e somente se, esta não é dominada por nenhuma outra ação do conjunto A . O conjunto de ações eficientes é visto como conjunto que contém apenas ações interessantes, mesmo que, algumas vezes, haja razões para não rejeitar definitivamente ações não eficientes.

3.2.3 Limiares de preferência e indiferença

Limiar de preferência, representado por $p(g(a))$, é definido como limite inferior (p) da diferença de $g(b) - g(a)$. É possível, em algumas situações, que o limiar seja constante, todavia, essa situação não é suficiente para optar por uma preferência estrita de b sobre a .

Limiar de indiferença, explicitado pela função $p(g(a))$, corresponde ao limite superior (q) para a função $g(b) - g(a)$, tal que qualquer valor dessa diferença inferior ao limite em foco não seja suficiente para garantir preferência estrita b sobre a , ou mesmo preferência fraca, podendo em algumas situações ser constante (ROY, 1996).

3.2.4 Informações intercritérios

Conforme mencionado anteriormente, os critérios são utilizados para avaliação de projetos e podem ser quantitativos ou qualitativos. Além disso, as distintas dimensões dos atributos (social, econômico, técnico e ambiental) fazem com sua natureza seja bastante heterogênea. Cada tipo de critério possui um conjunto de hipóteses subjacentes no tocante à correspondência com o mundo real.

O decisor pode ter dificuldade em estabelecer o grau de importância para cada critério, pois as ponderações estão associadas com a agregação dos atributos: seja a ponderação expressa por meio de taxas de substituição, como é o caso dos métodos compensatórios, ou pela importância relativa dos vários critérios, como é o caso dos métodos não compensatórios (BANA E COSTA, 1988).

Vincke (1992) argumenta que a relação de pesos intercritérios se presencia da seguinte forma: sejam G e H dois conjuntos de uma família F de critérios, sendo G mais importante que H , para duas ações a e b , pode-se dizer:

- a é melhor do que b para todos os critérios em G ;
- b é melhor do que a para todos os critérios em H ;
- a e b são indiferentes para todos os outros critérios; e
- a é globalmente melhor do que b .

Ao considerar determinada relação “mais importante”, representada por n constantes, $p_1, p_2, \dots, p_n$ ou associadas aos n critérios, têm-se que a comparação entre G e H é equivalente entre o somatório dos pesos dos critérios nos quais a é melhor do que b e o somatório dos pesos dos critérios nos quais b é melhor do que a . Dessa forma, têm-se a noção dos métodos não compensatórios.

Em diversos casos, a ponderação dos critérios é uma tarefa complexa. Em situações de Administração Pública, esta afirmação fica bastante evidente, pois os projetos devem assegurar o alcance de objetivos sociais, econômicos e ambientais. Fica difícil definir o grau de importância ou compensações que devem ser feitas entre os critérios, pois é preciso observar questões ambientais e sociais como também econômicas, na avaliação de projetos públicos.

Na perspectiva de Podinovski (1999), existem quatro principais motivos que tornam difícil ou impossível a permissão de *trade-offs* ou compensações entre os critérios:

- as informações a respeito da importância dos critérios são insuficientes;
- as compensações diferem para os valores dos critérios;
- o problema pode ser analisado sob perspectivas distintas;
- especialistas podem atribuir variados valores de compensação ou *trade-offs*.

Alguns métodos podem auxiliar no tratamento de informações imprecisas, entre os quais se destaca ELECTRE IV desenvolvido por Roy e Hugonnard (1982) com o intuito de resolver problemáticas de ordenação. Os autores conceberam uma metodologia capaz de trabalhar com pseudocritérios para hierarquizar um conjunto de projetos cuja finalidade consistia em ampliar as rotas para o metrô de Paris.

O ELECTRE IV foi aplicado no contexto de saneamento básico por Hokkanen e Salminen (1997) para escolher um sistema de gerenciamento de resíduos sólidos na Finlândia. Nos seus resultados, destaca-se a análise comparativa deste método com o ELECTRE III. Em suas conclusões, os autores asseveram que o ELECTRE IV é bastante útil para problemas que

envolvem questões ambientais. Também concluíram que a definição dos limiares de preferência é crucial, pois esses valores é que vão indicar os resultados de credibilidade das ações.

A escolha pela não utilização de pesos com o uso do ELECTRE IV direcionou os estudos de Rangel, Gomes e Moreira (2009) para ordenação da carteira de projetos do Serviço Brasileiro de Apoio à Micro e Pequenas Empresas do Rio de Janeiro (Sebrae/ RJ). Conforme os autores, o método mostrou-se eficiente diante da dificuldade de comparação entre os critérios qualitativos e quantitativos do problema.

Dias e Clímaco (2000) desenvolveram um programa (*VIP Analysis*) que utiliza o método de agregação aditiva para lidar com informações imprecisas. Este *software* apoia decisões de escolha em que o analista pode prosseguir no processo sem atribuir valor específico para as constantes de escala. A aplicação desse método no âmbito de decisão pública foi realizada por Campos e Almeida (2006) no estudo de localização de Nova Jaguaribara.

3.3 Métodos multicritério de apoio à decisão

Apoio Multicritério à Decisão (AMD) surgiu com a finalidade não só de auxiliar o decisor a resolver problemas com objetivos conflitantes, mas também para dar suporte em todo o processo de decisão de forma que sejam claros todos os elementos da decisão e consequências das ações potenciais. Foi assim que, por volta da década de 1970, surgiram os primeiros métodos multicritério de apoio à decisão ou *Multicriteria Decision Aid* (MCDA), que utilizavam uma abordagem diferenciada para problemas com objetivos múltiplos. Sua metodologia possibilitava não só a visão multidimensional dos problemas, mas também incorporava procedimentos bem distintos.

Resolver um problema multicritério significa procurar não apenas a solução escondida, mas consiste em auxiliar o tomador de decisão a dominar os dados (em geral, complexos) e avançar para decisão final. Na literatura encontram-se vários problemas MCDA e suas aplicações estão estritamente relacionadas com a natureza das informações do problema. Vincke (1986) classifica os métodos multicritérios em três grupos: programação matemática multiobjetivo; teoria da utilidade multiatributo; e métodos de sobreclassificação (*outranking methods*).

O primeiro grupo busca encontrar a solução ótima para a função-objetivo. A solução para essa classe de problemas é, muitas vezes, difícil mas, mesmo assim, são inúmeras aplicações encontradas na literatura. Baltar e Cordeiro Netto (1998) dizem que, apesar de suas limitações, os métodos que utilizam os princípios de otimização matemática ainda são vastamente aplicados, em razão do seu rigor matemático e da sua formulação mais evidente.

A Teoria da Utilidade Multiatributo ou *Multi-attribute Utility Theory* (MAUT) faz parte de uma corrente chamada de Escola Americana, fundamentada nos princípios axiomáticos que provêm do trabalho de von Neuman e Morgensten. A teoria tem como princípio o conceito de agregação dos diferentes critérios em única função-utilidade que deve ser otimizada.

Conforme Keeney e Raiffa (1976), a utilidade apropriada é estabelecida para cada ação. A melhor ação consiste naquela em que se obtém a maior utilidade esperada. Os autores formulam um procedimento axiomático a ser seguido para a elicitación da função utilidade multiatributo: apresentação da terminologia, identificação das condições de independência, desenvolvimento das funções de utilidade condicionais, determinação das constantes de escala, realização de testes de consistências.

O *Analytic Hierarchy Process* ou AHP foi um dos primeiros métodos de tomada de decisão com múltiplos critérios, por Thomas L. Saaty durante a década de 1970. A formulação matemática do AHP alterou bastante desde a sua primeira versão. O método tem como propósito organizar os objetivos ou critério em uma hierarquia representada pela preferência dos decisores e no nível inferior da hierarquia encontram-se as alternativas. As comparações entre elas são feitas par a par entre os elementos da hierarquia sejam as alternativas e os critérios de decisão. Os cálculos da metodologia são guiados pelo teorema da Álgebra Linear ou teorema de Perron-Frobenius (GOMES, 2007).

Os métodos são inspirados pela Escola Francesa ou Escola Europeia e utilizam as relações de sobreclassificação, superação ou *outranking*. Essas relações correspondem àquelas em que duas ações são incomparáveis: em situações de decisão pelas quais o decisor “não pode”, “não sabe como” ou “não quer decidir”.

Outra característica para os métodos multicriteriais diz respeito à análise de compensação entre os atributos. A teoria da utilidade multiatributo ou métodos considerados da Escola Americana, como o AHP, por exemplo, são considerados compensatórios enquanto os métodos de superação ou da Escola Europeia são vistos como não compensatórios.

A diferença entre os métodos compensatórios e não compensatórios está relacionada com a comparação entre critérios. Para Yoon e Hwang (1995), a compensação questiona se as vantagens de um atributo podem ser ou não trocadas pelas desvantagens de outro. No caso em que o decisor deve optar por determinado critério em detrimento de outro, é necessário estabelecer uma relação de *trade-off* ou compensação.

Segundo Gomes (2007), os métodos da Escola Norte-Americana têm o propósito de agregar todas as informações por meio de uma síntese, no caso do MAUT. Essa síntese vem da função utilidade multiatributo; no AHP, a síntese resulta da sucessão de aplicações do teorema de Perron-Frobenius até a obtenção final dos pesos globais das diversas alternativas. Já os métodos da Escola Francesa agregam, por meio de conceitos de superação, todas as informações provenientes do agente de decisão sem efetuar uma só operação de síntese.

Há um crescente interesse pela aplicação das metodologias multicriteriais, de forma que atualmente se perceba, na literatura, uma variedade de métodos, entre os quais é possível citar além daqueles já mencionados: ANP (*Analytic Network Process*), TOPSIS (*Technique for Order-Preference by Similarity to Ideal Solution*), MACBETH (*Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique*), entre outros.

Destaca-se a classificação das metodologias com múltiplos critérios aquela estabelecida pelos autores Hajkowicz e Collins (2007) para área de planejamento de recursos hídricos. Eles identificaram seis tipos de metodologias:

- funções valores multiatributo – tem o propósito de agregar as preferências do decisor em uma função valor e considera os pesos para cada atributo;
- métodos de sobreclassificação ou superação – abrangem métodos que fazem a comparação entre ações potenciais por meio de relações binárias, determinando a superação de uma alternativa em relação à outra. São exemplos desta família de métodos: ELECTRE e PROMETHEE;
- métodos que analisam a distância ideal – abordagens que identificam valores ideais e não ideais para os critérios de decisão. São exemplos desta classificação a Programação de Compromisso e o método TOPSIS;
- métodos de comparação entre pares – envolvem a comparação entre alternativas e critérios em pares. As comparações podem ser feitas para obter valores de pesos para os critérios. São exemplos dessas metodologias: AHP, ANP e MACBETH;

- Lógica Fuzzy, também conhecida como lógica difusa ou booleana - são modelos que trabalham com situações de incerteza em que admite valores lógicos intermediários entre o falso (0) e o verdadeiro (1); e
- Métodos baseados em série de Taylor – correspondem à criação de novos métodos AMD com base naqueles existentes, ou desenvolvem novos algoritmos em séries.

Observa-se diferença significativa comparada à concepção de Vincke (1986), na classificação de teorias e métodos que envolvem múltiplos critérios. A visão de Hajkowicz e Collins (2007) é interessante, pois mostra a análise multicritério no contexto de gerenciamento de recursos hídricos. A composição desta classificação teve como base a revisão de 98 artigos na referente área.

Em sequência, são apresentadas duas classes de métodos que fazem parte do escopo do modelo multicritério de priorização de investimento em saneamento: ELECTRE e PROMETHEE.

3.3.1 ELECTRE

O grupo de métodos ELECTRE ou *Elimination et Choix Traduisant la Réalité* são derivações do primeiro método (ELECTRE I) apresentado por Bernard Roy em 1968. Desde o seu desenvolvimento, esses métodos são bem aceitos na solução de problemas complexos multicriteriais. ELECTRE fundamenta-se no conceito de concordância para mensurar a vantagem de uma alternativa sobre as demais. O princípio de discordância serve para medir a desvantagem da alternativa em relação às demais. Assim, a metodologia possibilita verificar quais ações do problema são dominadas (OLSON, 1996).

Uma das características principais dos métodos ELECTRE está relacionada com as informações inter e intracritérios, especificamente com as relações de superação. Além disso, esta família incorpora os conceitos de modelagem de preferência, descritos anteriormente. As diferentes versões deste método apresentam características distintas e podem ser resumidas pelo quadro 3.3.

Quadro 3.3– Versões dos métodos da família ELECTRE

Versão	Autor	Ano	Problemática	Tipo de Critério	Utiliza pesos
--------	-------	-----	--------------	------------------	---------------

I	Roy	1968	seleção	simples	sim
II	Roy e Bertier	1973	ordenação	simples	sim
III	Roy	1978	ordenação	pseudo	sim
IV	Roy e Hugonnard	1982	ordenação	pseudo	não
IS	Roy e Skalka	1985	Seleção	Pseudo	Sim
TRI	Yu Wei	1992	Classificação	Pseudo	Sim

Fonte: Gomes, Araya e Carignano (2004)

O quadro 3.3 indica que a família ELECTRE pode ser aplicada para três tipos de problemática ($P\alpha$, $P\beta$, $P\gamma$). Observa-se que apenas o ELECTRE IV não faz uso de pesos na sua metodologia. Nas demais versões, adotam-se pesos como medida de importância para cada critério segundo o ponto de vista do decisor; suas aplicações os conceitos para as ponderações diferem de taxa marginal ou taxa de substituição adotadas pelos métodos compensatórios.

ELECTRE I

O ELECTRE I consiste na primeira versão da família ELECTRE e foi desenvolvido por Bernard Roy em 1968, tendo como objetivo resolver problemas de escolha. Seja um conjunto de opções de projetos, pretende-se obter um subconjunto N ou *Kernel* de ações; qualquer ação pertencente a N sobreclassifica qualquer ação fora de N (ROGERS; BRUEN; MAYSTRE, 2000).

A determinação do subconjunto N de ações viáveis fundamenta-se nos índices de concordância, discordância, além de limiares de concordância e discordância. Para Vincke (1992), atribui-se um peso p_j para cada critério cujo valor cresce de acordo com o grau de importância do atributo, e para cada par ordenado (a,b) de ações é associado índice de concordância, demonstrado na equação abaixo:

$$C(a,b) = \frac{1}{P} \sum_{j: q_j(a) \geq g_j(b)} p_j \quad \text{onde} \quad P = \sum_{j=1}^n p_j \quad (3.11)$$

O índice de concordância tem valor entre 0 e 1 e pode ser entendido como medida que indica o quanto a alternativa a é favorecida em relação a b , ou seja, o quanto “ a sobreclassifica b ”. O índice de discordância também assume valores entre 0 e 1 e corresponde à medida de desvantagem da alternativa a sobre a alternativa b , é obtido da seguinte forma:

$$D(a, b) = \begin{cases} 0 & \text{se } g_j(a) \geq g_j(b) \\ \frac{1}{\delta} \max_j [g_j(b) - g_j(a)] & \end{cases}, \quad \forall j \quad (3.12)$$

para

$$\delta = \max_{c, d, j} [g_j(c) - g_j(d)], \quad (3.13)$$

sendo δ = máxima diferença para qualquer critério.

A relação de sobreclassificação S é definida pelo limiar de concordância (c), relativamente grande, e um limiar de discordância (d), relativamente pequeno. Para um par de alternativas, a sobreclassifica b , se e somente se:

$$aSb \text{ se e somente se } \begin{cases} C(a, b) \geq c \\ D(a, b) \leq d \end{cases} \quad (3.14)$$

No ELECTRE I, busca-se obter parte das ações entre todas as possíveis ações (A) em um subconjunto N de alternativas de maneira que:

- cada ação A em N é superada ou por pelo uma opção em N ou $\forall b \in A \setminus N, \exists a \in N: aSb$;
- a ação em N é incomparável com a relação de sobreclassificação, ou $\forall a, b \in N, a \not S b, b \not S a$.

Na teoria dos grafos, o subconjunto N é denominado de Kernel. A estrutura de relações do ELECTRE I pode ser representada em grafos orientados conforme representado pela figura 3.4.

Figura 3.4 – Grafo da relação de sobreclassificação
 Fonte: Adaptado de Gomes, Araya, Carignano (2004, p. 102)

No grafo, cada círculo corresponde a uma ação e cada seta indica a relação de sobreclassificação. A figura 3.4 mostra as relações que são: aSb , dSa , dSb , dSc , eSf . Observa-se que o *Kernel* é formado pelas alternativas d e e .

ELECTRE II

Este método desenvolvido por Roy e Bertier em 1973 é a evolução do ELECTRE I, porém aplicado para problemática de ordenação ($P\gamma$). Sua formulação consiste na atribuição de duas relações de superação: uma forte (S^F) e outra fraca (S^f). Para estabelecer estas relações, é preciso admitir três índices de concordância (c_1 , c_2 e c_3) e dois de discordância (d_1 e d_2) de forma que:

$$0 \leq c_3 \leq c_2 \leq c_1 \leq 1 \text{ e } 0 \leq d_2 \leq d_1 \leq 1 \quad (3.15)$$

As condições de superação forte para as alternativas a e b são:

$$aS^F b \text{ se e somente se } \begin{cases} C(a, b) \geq c_3 \\ g_j(a) - g_j(b) \leq d_1 \forall j \\ \frac{p^+(a, b)}{p^-(a, b)} \geq 1 \end{cases} \quad (3.16)$$

ou

$$aS^F b \text{ se e somente se } \begin{cases} C(a, b) \geq c_2 \\ g_j(a) - g_j(b) \leq d_2 \forall j \\ \frac{p^+(a, b)}{p^-(a, b)} \geq 1 \end{cases} \quad (3.17)$$

Seja P^+ representado pelo somatório dos pesos dos critérios em que a alternativa é a é preferível à b , e P^- representado pelo somatório dos pesos dos critérios quando b é preferível à a , as condições de superação fraca são:

$$a S^f b \text{ se e somente se } \begin{cases} C(a,b) \geq c^1 \\ g_j(a) - g_j(b) \leq d_1 \forall j \\ \frac{P^+(a,b)}{P^-(a,b)} \geq 1 \end{cases} \quad (3.18)$$

Com origem nessas definições, é possível construir grafos para as relações de superação forte e fraca, para isso são estabelecidas as estruturas de pré-ordem completa V_1 e V_2 , obtidas com procedimentos de hierarquia e inversão desta. Após os procedimentos descritos, é construído um sistema final de pré-ordem V que segue as condições (ROGERS, BRUEN e MAYSTRE, 2000):

- se a é preferível à b nas duas estruturas de pré-ordem completa então será o mesmo caso para a pré-ordem final;
- se a apresenta o mesmo posicionamento de b na hierarquia em uma das situações de pré-ordem completa, no entanto a é preferível a b em outra pré-ordem, resulta em a precedendo b na pré-ordem final;
- se a é preferível à b no primeiro procedimento, mas na segunda situação b é preferível à a , então as duas ações são incomparáveis na condição final.

ELECTRE III

Utiliza-se esta versão para problemas de ordenação no caso em que há apenas um decisor. O ELECTRE III tem procedimentos semelhantes ao ELECTRE II, no entanto sua aplicação destina-se para pseudocritérios. O método permite estabelecer condições de indiferença e preferência em situações nos quais o decisor é incapaz ou recusa fazer comparações entre duas ações. Isto faz com que seja possível tratar com as situações de imprecisão ou incerteza.

Assim como os dois métodos descritos, os procedimentos evoluem por meio de duas fases distintas: construção de uma relação de sobreclassificação e exploração desta relação (ROGERS; BRUEN; MAYSTRE, 2000). Têm-se como parâmetros estabelecidos no método: limite de preferência (p), limites de indiferença (q) e limite de veto (v).

O método define o grau de sobreclassificação em b por a , $S(a,b)$ pelo índice de concordância $C(a,b)$ e o índice de discordância $D(a,b)$. O índice de concordância é calculado pela equação:

$$C(a,b) = \frac{1}{W} \sum_{j=1}^n w_j c_j(a,b) \quad (3.19)$$

onde

$$W = \sum_{j=1}^n w_j \quad (3.20)$$

e

$$c_j(a,b) = 1 \text{ se } g_j(a) + q_j(g_j(a)) \geq g_j(b) \quad (3.21)$$

ou

$$c_j(a,b) = 0 \text{ se } g_j(a) + p_j(g_j(a)) \geq g_j(b) \quad (3.22)$$

ou então

$$c_j(a,b) = \frac{g_j(a) - g_j(b) + (p_j(a))}{p_j(q_j(a)) - q_j(g_j(a))} \quad (3.23)$$

Onde p_j corresponde ao limite de estrita preferência para o critério j e q_j significa o limite de indiferença para j . A definição de discordância utiliza o limite de veto $v_j(g_j(a))$ de modo que a relação em que a sobreclassifica b é recusada se:

$$g_j(b) \geq g_j(a) + v_j(g_j(a)) \quad (3.24)$$

O índice de discordância é calculado para cada critério j segue como:

$$D_j(a,b) = 0 \text{ se } g_j(b) \leq g_j(a) + p_j(g_j(a)) \quad (3.25)$$

e

$$D_j(a,b) = 1 \text{ se } g_j(b) > g_j(a) + v_j(g_j(a)) \quad (3.26)$$

ou então,

$$D_j(a,b) = \frac{g_j(b) - g_j(a) - p_j(g_j(a))}{v_j(g_j(a)) - p_j(g_j(a))} \quad (3.27)$$

O grau de credibilidade da relação binária entre as alternativas a e b é definido como:

$$S(a,b) = C(a,b) \text{ se } D_j(a,b) \leq C(a,b) \forall j \quad (3.28)$$

ou então,

$$S(a, b) = C(a, b) \prod_{j \in J(a, b)} \frac{(1 - D_j(a, b))}{1 - C(a, b)} \quad (3.29)$$

sendo $J(a, b)$ o conjunto de critérios em que $D_j(a, b) > C(a, b)$.

O resultado final da aplicação dos procedimentos descritos consiste na hierarquia das alternativas. O emprego do método ELECTRE III pode ser feito com o auxílio do *software* ELECTRE III-IV.

ELECTRE IV

Método pelo qual se resolvem problemas de ordenação sem o uso de pesos, bastante útil quando há dificuldade de se chegar a um consenso para ponderações dos atributos. Os procedimentos iniciais de modelagem de preferência do ELECTRE IV são semelhantes ao ELECTRE III, ou seja, consideram-se os limites de preferência, indiferença e de veto para cada critério. Após a determinação desses parâmetros, as situações de superação são construídas de acordo com as duas relações de preferência fortes (S^F) e preferência fraca (S^f). De acordo com a visão de Vincke (1992) tem-se:

- aS^Fb - se não existe critério pelo qual b tem forte preferência em relação à a e se o número de critérios pelo qual b é fracamente preferível a a , é no máximo igual ao número de critérios pelos quais a é preferível (forte ou fracamente) a b ; e
- aS^fb - se não existe critério para o qual b é fortemente preferível à a , mesmo que a segunda condição de sobreclassificação forte não é verificada, ou se existe um único critério pelo qual b é estritamente preferível a a . Verifica-se também a condição em que a diferença em favor de b não seja superior ao limiar de veto e que a seja estritamente preferível a b para pelo menos metade dos critérios do problema.

Além destas definições, o método utiliza cinco parâmetros para estabelecer uma relação *fuzzy* (difusa ou booleana) de sobreclassificação (S_q , S_c , S_p , S_s e S_v). Rogers, Bruen e Maystre (2000) definem a relação binária entre duas alternativas a e b como:

$m_p(b, a)$: número de critérios em que b tem forte preferência sobre a ;

$m_q(b, a)$: número de critérios em que b tem preferência fraca sobre a ;

$m_i(b, a)$: número de critérios em que b é indiferente a a , mesmo que seu valor de desempenho seja melhor; e

$m_o(b,a) = m_o(a,b)$ se o número de critérios em que o desempenho de a é idêntico ao de b .

O ELECTRE IV estabelece as regras de superação para a relação binária nas cinco situações descritas em sequência.

Quasidominância (S_q) - b sobreclassifica a em quasidominância se e somente se:

- não existe nenhum critério em que a tem preferência estrita ou fraca b ;
- o número de critérios pelo qual a é indiferente a b deve ser menor que o número de critérios em que b é indiferente ou apresenta preferência fraca ou forte em a . Têm-se então a seguinte notação:

$$b S_q a \leftrightarrow m_p(a,b) + m_q(a,b) = 0 \text{ e } m_i(a,b) < m_i(b,a) + m_q(b,a) + m_p(b,a) \quad (3.30)$$

Dominância canônica (S_c) - b sobreclassifica a com dominância canônica se e somente se:

- não há nenhum critério em que a é fortemente preferível a b ;
- o número de critérios em que a é fracamente preferível a b é menor ou igual ao número de critérios em que b é estritamente preferível a a ; e
- o número de critérios em que a tem maior pontuação do que b não pode ser superior ao número de critérios em que b tem maior pontuação que a .

$$b S_c a \leftrightarrow m_p(a,b)=0, \quad m_q(a,b) \leq m_q(b,a) \quad (3.31)$$

e

$$m_q(a,b) + m_i(a,b) \leq m_i(b,a) + m_q(b,a) + m_p(b,a) + 1 \quad (3.32)$$

Pseudodominância (S_p) - b sobreclassifica a com pseudodominância se e somente:

- não há nenhum critério em que a é fortemente preferível a b ;
- o número de critérios em que a é fracamente preferível a b é menor ou igual ao número de critério em que b é fracamente ou estritamente preferível à a .

$$b S_p a \leftrightarrow m_p(a,b) = 0 \text{ e } m_q(a,b) \leq m_q(b,a) + m_p(b,a) \quad (3.33)$$

Subdominância (S_s) - b sobreclassifica a com subdominância se e somente se:

- não há nenhum critério em que a é fortemente preferível a b

$$b S_s a \leftrightarrow m_p(a,b) = 0 \quad (3.34)$$

Veto dominância (S_v) - b sobreclassifica a com veto dominância se e somente se:

- não há nenhum critério em que a é fortemente preferível a b e não se presencia a condição de uma pseudodominância;
- se existe um critério único em que a é estritamente preferível a b mas com a diferença entre duas validações menor do que o valor do veto. Veto dominância requer que a seja estritamente preferível a b na maioria dos critérios.

$$b S_s a \leftrightarrow m_p(a,b) = 0 \quad (3.35)$$

$$\text{mas, se } m_p(a,b) = 1$$

$$b S_v a \leftrightarrow m_p(b,a) \geq m/2 \text{ e } g_j(b) + v_j[g_j(b)] \geq g_j(a) \quad (3.36)$$

Uma vez estabelecidas às cinco situações de dominância, o grau de credibilidade da relação de sobreclassificação é atribuído pelos seguintes valores:

- se $a S_q b$, então $S(a,b) = 1$
- se $a S_c b$, então $S(a,b) = 0,8$
- se $a S_p b$, então $S(a,b) = 0,6$
- se $a S_s b$, então $S(a,b) = 0,4$
- se $a S_v b$, então $S(a,b) = 0,2$
- caso não se verifique nenhuma destas relações, então $S(a,b) = 0$.

Para cada par de alternativas (a,b) se obtém uma matriz com os graus de credibilidade da relação de sobreclassificação cujos valores são entre 0 e 1. Além disso, a análise sobre as relações de superação são construídas pela destilação ascendente e descendente.

O resultado de ordenação ocorre pela técnica de ordenação sob duas formas:

- ordenação descendente (*descending distillation*) - tem como procedimento selecionar a melhor opção e eliminá-la do processo de decisão. Posteriormente, a análise é feita novamente eliminando a nova opção em que se configura como melhor e assim por diante, até chegar à pior opção;
- ordenação ascendente (*ascending distillation*) - o procedimento é semelhante à ordenação descendente só que nesse caso a pior opção é eliminada do processo de tomada de decisão. A etapa seguinte consiste em eliminar a segunda opção que se apresenta como pior e, assim por diante, até finalizar o processo com a melhor opção.

ELECTRE TRI

O método ELECTRE TRI é utilizado para resolver problemas de classificação. A classificação é obtida pela comparação entre as alternativas de acordo com determinada norma, referência ou padrão definido pelo decisor. A família de critérios utilizada são os pseudocritérios e o método faz uso de índices de concordância e discordância, além de considerar o nível de corte (λ).

A classificação obtida pelo ELECTRE TRI é estabelecida por meio de duas fases. A primeira busca construir uma relação de sobreclassificação para decidir se a alternativa supera o perfil determinado pelo decisor, enquanto a segunda fase explora a relação de sobreclassificação para se obter a classificação almejada.

Gomes, Araya e Carignano (2004) dizem que Electre TRI apresenta as seguintes propriedades: uma alternativa potencial é julgada por si mesma, independente de outras; o método permite um ou vários padrões de referência.

ELECTRE IS

Esse método, criado por Roy e Skalka em 1985, busca selecionar um subconjunto de alternativas potenciais. É uma adaptação do primeiro ELECTRE pela introdução de lógica

fuzzy (lógica difusa) e a utilização de pseudocritérios. O método corresponde à generalização do ELECTRE I, só que neste caso se pretende hierarquizar uma série finita de alternativas.

3.3.2 SAD para aplicação do ELECTRE

A aplicação de *software* para a família de métodos ELECTRE e suas variantes pode ser associada conforme Zopounidis e Pardalos (2010):

- a) problemas de escolha para as versões ELECTRE I, IV e IS pode-se utilizar o *software* ELECTRE IS. Vale ressaltar que nesse caso, ocorre a generalização do ELECTRE IV;
- b) problemas de hierarquia para as versões ELECTRE II, III e IV aplica-se o *software* ELECTRE III-IV; e
- c) problemas de classificação para as versões ELECTRE TRI-B, ELECTRE TRI-V e ELECTRE TRI-NC aplica-se o *software* ELECTRE TRI-B.

Os *softwares* ora descritos estão disponíveis em: [http\\www.lamsade.dauphine.fr](http://www.lamsade.dauphine.fr). As versões ELECTRE IS, III-IV, TRI foram desenvolvidos pela associação da Universidade da Polônia pelo *Institute of Computing Science* com a Universidade de Paris-Dauphine.

3.3.3 PROMETHEE

A família de métodos multicritério conhecidos como PROMETHEE (*Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation*) foi apresentada primeiramente por Brans, Vincke e Mareschal em 1984.

PROMETHEE é uma ramificação dos métodos ELECTRE pertencente à classe de métodos de sobreclassificação. Olson (1996) diz que a aplicação do ELECTRE requer a atribuição de vários parâmetros não facilmente compreendidos pelo decisor. Os métodos PROMETHEE, no entanto, assim como os métodos ELECTRE, são vulneráveis às subjetividades, principalmente para parâmetros técnicos.

Gomes (2007) ensina que a família PROMETHEE demonstra maior resistência para variações nos parâmetros quanto comparados ao ELECTRE, estabelecendo maior solidez nos resultados. As variações deste método (PROMETHEE I, II, III e IV) têm a finalidade de resolver problemas de ordenação e aplicação em sistemas que envolvem preferências nebulosas.

As alternativas são comparadas entre si pelas relações binárias que indicam o desempenho de cada uma para determinado critério. Brans, Vincke e Mareschal (1986) definem as ações a e $b \in A$, onde A é o conjunto de alternativas possíveis de um problema, a função de preferência P corresponde:

$$P: A \times A \rightarrow (0,1) \quad (3.37)$$

Pode-se, então, calcular o índice de preferência que representa o grau de preferência da ação a em relação a b . Supondo que o decisor estabeleceu uma função de preferência P_i e peso w_i para cada critério f_i ($i=1, \dots, k$) do problema, o índice é definido pela equação:

$$\Pi(a,b) = \sum_{i=1}^k P_i(a,b)w_i \quad (3.38)$$

onde $\Pi(a,b)$ expressa o grau de preferência de a em relação a b para todos os critérios. A função de preferência representa a intensidade de desejabilidade de a em relação a b para:

- $\Pi(a,b) = 0$ corresponde a condição de indiferença ou não preferência de a em b ;
- $\Pi(a,b) \sim 0$ significa preferência fraca de a em b ;
- $\Pi(a,b) \sim 1$ representa preferência forte de a em b ; e
- $\Pi(a,b) = 1$ constitui preferência estrita de a em b .

A partir da definição da função preferência, calcula-se o grau de preferência da ação potencial que tem maior desempenho. A metodologia do PROMETHEE faz uso de seis tipos de critérios generalizados (figura 3.5), em que se tem a função $P(d)$.

Na percepção de Öezerol e Karasakal (2008), a metodologia do PROMETHEE provê uma técnica sofisticada de modelagem, contudo requer informações precisas sobre os parâmetros. Essa afirmação é percebida pela precisão em que os limites são estabelecidos no momento em que são definidos os tipos de critérios generalizados (figura 3.5). Ao mesmo tempo a associação dos critérios para um gráfico pode facilitar a determinação dos parâmetros, já que no ELECTRE não se tem essa opção.

O fluxo de superação positivo e negativo são definidos, respectivamente, como:

$$\emptyset^+(a) = \frac{1}{n-1} \sum_{b \in A} \Pi(a,b), \quad (3.39)$$

$$\emptyset^-(a) = \frac{1}{n-1} \sum_{b \in K} \Pi(b,a). \quad (3.40)$$

Sendo A o conjunto de alternativas, cada alternativa a é comparada com $(n-1)$ alternativas em A .

Generalised criterion	Definition	Parameters to fix
<p><i>Type 1:</i> <i>Usual</i> <i>Criterion</i></p>	$P(d) = \begin{cases} 0 & d \leq 0 \\ 1 & d > 0 \end{cases}$	—
<p><i>Type 2:</i> <i>U-shape</i> <i>Criterion</i></p>	$P(d) = \begin{cases} 0 & d \leq q \\ 1 & d > q \end{cases}$	q
<p><i>Type 3:</i> <i>V-shape</i> <i>Criterion</i></p>	$P(d) = \begin{cases} 0 & d \leq 0 \\ \frac{d}{p} & 0 \leq d \leq p \\ 1 & d > p \end{cases}$	p
<p><i>Type 4:</i> <i>Level</i> <i>Criterion</i></p>	$P(d) = \begin{cases} 0 & d \leq q \\ \frac{1}{2} & q < d \leq p \\ 1 & d > p \end{cases}$	p, q
<p><i>Type 5:</i> <i>V-shape</i> <i>with indifference</i> <i>Criterion</i></p>	$P(d) = \begin{cases} 0 & d \leq q \\ \frac{d-q}{p-q} & q < d \leq p \\ 1 & d > p \end{cases}$	p, q
<p><i>Type 6:</i> <i>Gaussian</i> <i>Criterion</i></p>	$P(d) = \begin{cases} 0 & d \leq 0 \\ 1 - e^{-\frac{d^2}{2s^2}} & d > 0 \end{cases}$	s

Figura 3.5 - Seis tipos de critérios generalizados
 Fonte: Brans e Mareschal (2005, p. 170)

O fluxo de superação positivo expressa o quanto uma alternativa sobreclassifica as demais alternativas. Assim, quanto maior for o valor de $\phi^+(a)$, melhor será a alternativa. Já o fluxo negativo indica o quanto a alternativa a é superada pelas demais; quanto menor for o valor de $\phi^-(a)$, pior será alternativa. A figura 3.6 ilustra os fluxos de superação positivo representado por (a) e negativo representado por (b).

Figura 3.6 – Fluxos de superação positivo e negativo
Fonte: Brans e Mareschal (2005, p. 173)

PROMETHEE I

Resolve problemas de ordenação em que se obtém uma pré-ordem parcial entre alternativas do problema. A pré-ordem é obtida pelas condições:

$$\begin{cases} aP^+b \text{ se e somente se } \phi^+(a) > \phi^+(b), \\ aI^+b \text{ se e somente se } \phi^+(a) = \phi^+(b); \end{cases} \quad (3.41)$$

$$\begin{cases} aP^-b \text{ se e somente se } \phi^-(a) > \phi^-(b), \\ aI^-b \text{ se e somente se } \phi^-(a) = \phi^-(b). \end{cases} \quad (3.42)$$

O fluxo positivo indica o quanto uma alternativa domina outra e o fluxo negativo mostra o quanto esta mesma é dominada. Brans (2002) afirma que é interessante aplicar esta ferramenta quando se deseja comparar os desempenhos de cada alternativa. A pré-ordem parcial (P_I, I_I, R) é obtida pela interseção das seguintes pré-ordens:

$$\begin{cases} aP_I b \text{ (a sobreclassifica b) se } & aP^+b \text{ e } aP^-b, \\ & \text{ou } aP^+b \text{ e } aI^-b, \\ & \text{ou } aI^+b \text{ e } aP^-b; \\ aP_I b \text{ (a é indiferente a b) se e somente se } & I^+b \text{ e } I^-b; \\ aRb \text{ (a é incomparável a b) para outras situações} & \end{cases} \quad (3.43)$$

PROMETHEE II

Também utilizado para solucionar a problemática de hierarquia, nesse caso se obtém uma pré-ordem completa. O fluxo neto é obtido pela equação:

$$\phi(a) = \phi^+(a) - \phi^-(a) \quad (3.44)$$

As etapas iniciais para a aplicação do método são idênticas ao PROMETHEE I. A diferença é que no PROMETHEE II são evitadas as situações de incomparabilidade. Para que isso ocorra são avaliadas as seguintes condições:

$$\begin{cases} aP_{II}b \text{ (a sobreclassifica b)} & \text{se e somente se } \phi(a) > \phi(b) \\ aI_{II}b \text{ (a é indiferente a b)} & \text{se e somente se } \phi(a) = \phi(b) \end{cases} \quad (3.45)$$

O PROMETHEE II obedece as seguintes propriedades:

$$\begin{cases} -1 \leq \phi(a) \leq 1, \\ \sum_{x \in A} \phi(a) = 0 \end{cases} \quad (3.46)$$

Quando $\phi(a) > 0$, a alternativa a supera as demais alternativas em todos os critérios, e para $\phi(a) < 0$ essa alternativa é superada pelas outras do subconjunto A .

A hierarquia obtida pelo PROMETHEE II pode ser representada pelo gráfico (figura 3.7) que mostra os perfis de todas as alternativas conforme os valores dos fluxos de superação.

Figura 3.7 – Fluxos de superação por alternativa
Fonte: Adaptado de Brans e Mareschal (2005, p. 175)

PROMETHEE III

Distingue-se das outras versões pelo fato de realizar a ordenação das alternativas potenciais por meio de intervalos.

PROMETHEE IV

É uma continuação do PROMETHEE II, mas nesse caso o número de alternativas pode ser infinito.

PROMETHEE V

Consiste na extensão do PROMETHEE II, porém é utilizado para identificar um subconjunto de alternativas, conforme as restrições definidas no problema.

PROMETHEE & GAIA

Os procedimentos do método GAIA (*Geometric Analysis for Interactive Aid*) surgiram para completar visualmente as técnicas PROMETHEE. Essa ferramenta foi desenvolvida inicialmente por Mareschal e Brans, em 1988, e serve para analisar a influência dos pesos dos critérios nas alternativas.

Na visão de Olson (1996), a estrutura GAIA não realiza com perfeição o mapeamento das informações, todavia oferece uma representação inovadora em duas dimensões para os critérios e alternativas. Os autovalores da matriz de avaliação são calculados e os dois primeiros autovetores são utilizados como médias para traçar os dados numa análise dos componentes.

O impacto dos pesos é introduzido no plano GAIA conforme demonstrado pela figura 3.8, que representa a projeção no plano dos parâmetros do método PROMETHEE. Seja o fluxo de superação da alternativa a_i que corresponde ao produto escalar entre o vetor de um critério singular e o vetor do seu peso. Isto significa que a_i é a projeção do vetor de um critério singular (w), consequentemente a posição relativa de todas as alternativas em w provê a ordenação pelos PROMETHEE II (BRANS; MARESCHAL, 2005).

Figura 3.8 – Projeção no plano GAIA
 Fonte: Brans e Mareschal (2005, p. 179)

O vetor w tem importante papel, pois representa a projeção da unidade de vetor dos pesos. Seja π essa projeção. Pode-se denominá-lo de π como bastão de decisão conforme o método PROMETHEE. De acordo com figura 3.8 a ordenação obtida consiste em: $a_4 > a_3 > a_2 > a_1$.

A representação gráfica do plano indica as seguintes propriedades.

- Posição das alternativas: a proximidade entre as alternativas sugere a relação entre elas. Assim, quanto mais próximas duas alternativas estiverem no plano, maior será a similaridade entre elas.
- Posição dos critérios: a similaridade entre os critérios também está relacionada com a sua aproximação no plano. Isto significa que se uma alternativa é boa para determinado critério será também boa para outro critério semelhante.
- Posição das alternativas com os critérios: o estudo do desempenho de cada alternativa em relação ao critério pode visualizado conforme sua proximidade. Quanto mais próxima uma alternativa de determinado critério, melhor o seu desempenho segundo as preferências do decisor.

Os resultados sobre a extensão gráfica GAIA permitem que o analista possa manipule de forma interativa os pesos relativos para avaliar a influência destes no desempenho das alternativas. Esta análise é importante, pois se consegue uma assimilação visual sobre os resultados. Além disso, a ferramenta provém, de maneira geral de uma análise de sensibilidade gráfica.

Além dessas versões mais consolidadas, percebem-se na literatura algumas variações do método, como é o caso de Goumas e Lygerou (2000), que propõem o F-PROMETHEE, desenvolvido para lidar com dados difusos (*fuzzy*) cuja aplicação foi em sistemas de energia.

Os métodos PROMETHEE são bem aceitos no contexto acadêmico. Essa afirmação foi comprovada por Behzadian et al (2010), que fizeram a revisão de 217 artigos que aplicaram esse método. As aplicações abrangeram diversas áreas, como Medicina, Agricultura, Gestão Ambiental e Resíduos Sólidos, Gestão de Recursos Hídricos, Logística e Transporte, Administração Financeira e Negócios, entre outras.

3.3.4 SAD para aplicação do PROMETHEE

A análise do método PROMETHEE pode ser feita pela aplicação dos seguintes sistemas de apoio à decisão: PROMCALC, Decision Lab e D-SIGHT. A primeira versão de *software* que aplicava PROMETHEE com a visualização gráfica (GAIA) é atribuída ao PROMCALC & GAIA e foi apresentado inicialmente por Brans e Mareschal (1994).

O *Decision Lab* faz a análise do PROMETHEE e a extensão GAIA. Foi desenvolvido pela companhia canadense Visual Decision em cooperação com os autores do método. Esse SAD surgiu como proposta para substituir o PROMCALC, conforme Brans e Mareschal (2005). O sistema computacional oferece vários recursos como análise gráfica, de múltiplos cenários e de sensibilidade.

O D-SIGHT é um dos sistemas de apoio à decisão mais recentes, lançado em 2010; aplica PROMETHEE & GAIA. Foi desenvolvido pela companhia D-SIGHT *spin-off* da Universidade de Bruxelas (corresponde uma empresa que nasceu a partir de um grupo de pesquisa de uma universidade). Esse sistema de suporte à decisão permite modelar e resolver problemas de hierarquia e seu uso pode ser visto em Bernadini et al (2010) e Mutikanga, Sharma e Vairavamoorthy (2011). Descrições sobre essa ferramenta estão disponíveis em: <http://www.d-sight.com/>.

3.4 Decisão em grupo

O modelo proposto de priorização de projetos em saneamento considera a decisão em grupo como fator importante para garantir sua eficiência. Assim, pretende-se explorar algumas características da decisão em grupo.

Na visão de Kacprzyk, Fedrizzi e Nurmi (1992), a análise de decisão tornou-se um campo de pesquisa amplo por seus modelos matemáticos consolidados. Basicamente, esses modelos procuram dar racionalidade ao comportamento humano referente à decisão. Quanto à participação de múltiplos agentes de decisão sua essência deve prover uma solução mais aceitável para o grupo. Essa é, porém, uma tarefa difícil, já que envolve preferências individuais distintas.

O problema da decisão multiparticipativa é notório para as decisões públicas, pois, em geral, são tomadas por um grupo de indivíduos que podem ser formado por comitês, comunidades, associações, conselhos, diretorias. Buchanan e Sheppard (1998) argumentam que, no caso do problema de hierarquia, a solução é desafiadora, pois não há um só critério em que se possa medir o impacto do projeto e dificilmente vai haver apenas um decisor; os resultados vão depender do consenso de múltiplos decisores.

Ekel et al (2009) também observam que são necessárias múltiplas perspectivas pois apenas uma pessoa pode não ter conhecimento o suficiente para resolver o problema. Assim, a decisão em grupo torna-se primordial para projetos públicos já que é preciso considerar mais de uma perspectiva, mesmo que essa decisão apresente maior complexidade.

Evidencia-se que a literatura de apoio à decisão multicritério concentra-se principalmente em decisões individuais. Hajkowicz (2008) diz que pesquisadores ainda aprendem com a análise multicriterial e como esta exerce impacto no processo de decisão em grupo. Além disso, não há abordagens com grande repercussão para resolução de problemas dessa natureza.

Tomada de decisão em grupo ocorre quando há mais de um decisor com a necessidade de resolver um problema em comum. Consiste no processo em que se busca obter soluções satisfatórias pela participação de múltiplos agentes, cada um com percepção distinta do problema. Leyva-López e Fernández-González (2003) entendem sobre apoio à decisão em grupo como a redução de preferências individuais em única preferência coletiva.

O resultado de uma boa decisão em grupo depende de um conjunto de fatores: competências envolvidas, diferenças entre julgamentos e opiniões, composição e cooperação do grupo, método utilizado no processo. Em geral, a decisão em grupo satisfatória consiste naquela em que a solução possui maior aceitabilidade para a maioria dos integrantes do grupo. Peniwati (2007) levanta dezesseis indicadores de qualidade em decisão em grupo que devem ser observados: eficiência na liderança, sustentabilidade do grupo, aprendizagem, objetivo a ser atingido, desenvolvimento das alternativas, confiança com os julgamentos, entre outros.

Tan, Teo e Wei (1995) citam três grandes vantagens para a decisão em grupo em comparação com a individual:

- pode abranger maior amplitude de competências;
- os grupos permitem melhores condições na divisão de tarefas para obtenção de informações necessárias;
- quando o grupo é formado por um conjunto de pessoas com diversidade de interesses, a decisão é mais representativa. Além disso, há maior aceitação na decisão pelos envolvidos.

É importante ressaltar que a decisão em grupo pode vir da participação de múltiplos decisores não somente em uma fase do processo, mas em fases distintas de acordo com a especialidade e conhecimento de cada um. Algumas técnicas de decisão em grupo podem ser utilizadas para se obter o resultado comum como: votação, negociação, dinâmica de grupos, envolvimento de um agente intermediador.

3.4.1 Regras de decisão em grupo

A decisão em grupo não está isenta de situações de conflito entre os interessados. Isso ocorre porque cada integrante possui julgamento e preferência particular. Lu et al (2007) distinguem dois tipos de decisão que envolvem múltiplos integrantes: cooperativa e não cooperativa. Na decisão cooperativa, o grupo reconhece o problema em comum e procura agir com a devida confiança. Assim a responsabilidade sobre a decisão é compartilhada. Na decisão não cooperativa, não há consenso espontâneo e o resultado final pode não ser de aceitação da maioria do grupo.

Algumas técnicas de dinâmica de grupo podem complementar o processo de decisão. Entre as principais técnicas, estabelecidas por Lu et al (2007), que podem ser utilizados com apoio à decisão multicritério, estão as seguintes.

Regra de autoridade

Nesse caso, indica-se um representante que tem a autoridade para tomar a decisão final. Os membros do grupo participam do processo decisório pela geração de ideias e discussões do problema. Ressalta-se que é o líder tem o poder de decisão e pode exercê-lo em qualquer momento do processo. A vantagem dessa regra é a rapidez na solução do problema; o processo decisório é coletivo, mas o resultado é obtido pela preferência individual.

Regra da maioria

Consiste no processo em que a decisão ocorre pela votação para seleção ou hierarquia das alternativas. Essa votação pode ser formal ou informal e é realizada após uma sequência de discussões entre o grupo. Essa decisão é considerada mais democrática, contudo sua eficiência vai depender da qualidade das discussões do grupo durante a análise das alternativas.

Regra de consenso

Nesse caso, a decisão é obtida por meio do consenso entre os múltiplos agentes. As alternativas são discutidas entre os participantes até que haja um acordo entre eles. A desvantagem da regra de consenso se dá pela necessidade de requisitar maior período, mas essa regra apresenta maior aceitabilidade entre os decisores. A qualidade da decisão depende também da boa comunicação e cooperação no grupo.

3.4.2 Técnicas que apoiam o consenso da decisão

Algumas técnicas auxiliam o processo de obtenção do consenso na decisão entre as quais se menciona: *Brainstorming*, técnica Delphi (*Delphi technique*) e NGT (*Nominal Group Technique*). Essas técnicas podem contribuir não só para consenso entre os tomadores de decisão, mas também permitem a gestão de conhecimento.

Brainstorming

Brainstorming é uma técnica que busca estimular o pensamento criativo e a geração de idéias. Foi desenvolvido pelo publicitário Alex F. Osborn. Em geral, o termo *brainstorming* pode ser traduzido como tempestade cerebral ou tempestade de pensamento, de sorte que sua finalidade é produzir a maior quantidade de idéias possíveis em pouco tempo.

Liou (1992) informa que *brainstorming* estimula o pensamento individual, de modo a ampliar o pensamento coletivo; entretanto, as interações dos participantes devem seguir algumas recomendações: os integrantes não podem criticar ou julgar previamente qualquer que seja a ideia; todas são potenciais; é possível combinar, modificar para criar idéias.

Conclui-se que *brainstorming* é uma técnica de estímulo à criatividade do grupo e pode ser utilizada no apoio à decisão com múltiplos critérios. Aliar essa técnica com multicritério pode contribuir para estruturação do problema para formulação de alternativas ou constituição dos critérios de decisão.

Al-Kloub, Al Shemmeri e Pearman (1997) utilizam *brainstorming* em grupo para identificar as alternativas viáveis de abastecimento de água na Jordânia, enquanto os objetivos do problema e suas devidas ponderações foram organizados pela técnica nominal de grupo. A hierarquia das alternativas foi obtida pela aplicação do PROMETHEE II, juntamente com a ferramenta GAIA. Destaca-se também o estudo de Gómez-López et al (2009), que reuniu especialistas na área de saneamento para definir por *brainstorming* quais alternativas para o tratamento de água na cidade de Cartagena na Espanha.

Técnica Delphi

A técnica Delphi foi desenvolvida por Gordon e Helmer em 1953 e tem como objetivo estabelecer uma concordância de opiniões sem necessitar a presença dos participantes. A técnica pode ser realizada pela internet, por questionários e entrevistas, portanto, ela se mostra eficiente para situações polêmicas, em ambientes com divergências políticas ou emocionais (LU et al, 2007).

Esta técnica fundamenta-se na aplicação de questionários para agregar conhecimento em problemas complexos. As percepções ou opiniões são coletadas individualmente e analisadas por grupo monitor. Esse grupo compreende, em geral, até dez membros e é responsável por enviar questionário para os participantes da pesquisa.

Dyer e Forman (1992) recomendam essa técnica quando se procura minimizar ou eliminar situações de dominância no grupo exercidas por um ou mais membros, já que a técnica é aplicada em ambiente em que os integrantes estão separados. A desvantagem desse procedimento, no entanto, consiste em não se beneficiar com as oportunidades e idéias oferecidas pela conversação.

Técnica Nominal de Grupo

Os procedimentos para aplicação de NGT (*Nominal Group Technique*) ou técnica nominal de grupo, também conhecido como método Delbecq, foram desenvolvidos por Delbecq e Van de Ven (1971). O termo nominal foi determinado para se referir ao processo que reúne múltiplos participantes sem a necessidade de comunicação verbal entre eles.

A técnica foi desenvolvida com o intuito de aprimorar o planejamento por meio de estímulo a produtividade criativa do grupo. É aplicada pela sequência de etapas: elaboração das respostas individualmente; registro de respostas; discussão para esclarecimentos; voto preliminar das respostas; nota e ordem das respostas (CASSIANI; RODRIGUES, 1996). A aplicação da técnica depende de um líder com conhecimento especializado, responsável por sessões em que as ideias são geradas.

Esta técnica foi aplicada, juntamente com o método PROMETHEE, por Al-Rashdan et al (1999), para priorizar projetos na Jordânia. O objetivo dessa técnica no problema multicritério foi criar o conjunto de objetivos e critérios.

Além dessas técnicas abordadas, L. Gomes, C. Gomes e Almeida (2002) listam diversas técnicas e seus objetivos para situações em que se participam equipes multidisciplinares, importantes para a gestão de conhecimento (quadro 3.5).

Quadro 3.4 – Tipos de reunião em grupo

Técnicas	Propósito
Diálogo ou debate público	Informar e esclarecer sobre um assunto, representado por pelo menos dois especialistas com pontos de vista distintos
Discussão em painel	Informar sobre um assunto cuja discussão ocorre entre vários especialistas com visões distintas
Mesa redonda	Estabelecer um consenso por meio de discussão relativamente informal entre especialistas
Painel de interrogadores	Informar sobre um assunto e aprofundá-lo por meio de perguntas elaboradas por um grupo seletivo de interrogadores ou especialistas
Fórum ou foro	Informar e esclarecer sobre um assunto com base em debate, seguido de perguntas

Fonte: Adaptado de L. Gomes, C. Gomes e Almeida (2002, p. 62)

O poder na decisão em grupo

Apesar de muitas decisões serem tomadas por mais de um indivíduo, sejam por comitês, colegiados ou conselhos, a literatura relativa à metodologia multicritério de apoio à decisão dá pouca atenção para esse assunto, em particular a análise sobre o poder da decisão é negligenciada (LOOTSMA, 1999).

Em políticas públicas, o poder sobre a decisão é evidente e pode se manifestar sob duas formas: declarado e não declarado. O poder de forma declarada se dá por meio de uma hierarquia de cargos públicos com tarefas bem definidas. Nesse caso, o poder fica evidente e a decisão de maior importância é atribuída aos cargos mais altos da hierarquia da organização.

O poder não declarado é manifestado indiretamente; assim, nem sempre é visível. Algumas vezes ocorre de forma explícita e outras de maneira implícita. Pode ocorrer, por exemplo, por meio da influência de um integrante sobre as pessoas. Nota-se que algumas vezes a simples presença de um integrante pode direcionar os resultados da decisão.

As notas relativas à influência de um membro ou poder de decisão que alguém exerce são plausíveis e evidentes na prática em organizações públicas ou privadas. Não é intuito deste trabalho, no entanto, analisar questões psicológicas. Pretende-se apenas observar suas características.

3.4.3 Abordagens de agregação de preferências

Na literatura há metodologias com formulações matemáticas variadas para resolver a questão da decisão em grupo. Encontra-se inclusive modelo matemático para padronizar e quantificar termos lingüísticos, com o intuito de auxiliar a decisão em grupo, como é o caso das propostas feitas por Kacprzyk, Fedrizzi, Nurmi (1992) e Parreiras et al (2010).

Verificam-se também, na revisão bibliográfica, extensões dos métodos de sobreclassificação para adaptarem-se à questão da decisão em grupo. Cordeiro Netto, Parent e Duckstein (1996), por exemplo, propõem a extensão do método ELECTRE III para resolver o problema de planejamento de abastecimento de água no sul da França com múltiplos decisores. O problema consistia em priorizar 38 alternativas, 13 critérios e envolveu quatro grupos de decisores representados por quatro organizações públicas.

Morais e Almeida (2007) sugerem um procedimento de decisão em grupo fundamentado no PROMETHEE V. Posteriormente, Halouani, Chabchoub e Martel (2009) propõem dois métodos de decisão em grupo (PROMETHEE-MD-2T I e II) com a integração de um tratamento linguístico para informações imprecisas.

Podem ser reconhecidas, em geral, duas situações de análise da decisão em grupo - aquelas em que há interação dos participantes ou aquelas em que se agregam as preferências individuais sem a necessidade de interação.

Interação do grupo

Nesta situação a decisão é obtida pelo consenso por meio de reuniões em grupos. Em alguns casos, é necessária a intervenção de um moderador ou líder em que há a aceitação de todos para auxiliar no acordo entre os participantes. Entre os estudos que abrangem essa categoria, destacam-se:

- Damart, Dias e Mousseau (2007) - indicam um modelo que incorpora uma preferência coletiva com a aplicação do método ELECTRE TRI;
- Hermans et al (2007) - realizam sessões para avaliar as preferências e obter um consenso de múltiplos decisores com auxílio do método PROMETHEE;
- Ekel et al(2009) - propõem um procedimento por meio de uma sequência de etapas em que envolvem o auxílio de um moderador para se obter um consenso de múltiplos decisores; e
- no modelo proposto por Cai, Lasdom e Michelsen (2004) o resultado final para o problema multiobjetivo de saneamento consistia naquela opção em que tinha maior aceitabilidade entre as preferências individuais.

Agregação de preferências individuais

Nesse caso, a obtenção de preferência de um grupo resulta da agregação de preferências individuais. As situações estudadas verificam as relações entre preferências individuais decompostas em uma preferência coletiva. Podem-se citar as seguintes pesquisas:

- Bose, Davey e Olson (1997), que fazem análise dos estudos que utilizaram MAUT em situações com múltiplos decisores;

- Kim e Ahn (1999), propondo um modelo de agregação de preferências individuais para decisão em grupo fundamentada pela teoria da utilidade no tratamento de informações incompletas ou imprecisas;
- Dias e Clímaco (2005), que sugerem uma metodologia e aplicação do *software VIP Analysis* que auxilia em problemas multicritérios de decisão em grupo.
- Forman e Peniwati (1998) e Bollojou (2001), que aplicam a decisão em grupo juntamente com o método AHP.
- Bendoly e Bachrach (2003) - formulam um modelo multicritério para investigar a convergência de agregação de preferências de um grupo em diferentes períodos.

Na perspectiva de Leyva-López e Fernández-González (2003), há dois tipos de abordagens para agregação de preferências individuais com apoio da decisão multicritério: agregação na fase inicial ou na fase final da metodologia.

Na primeira abordagem, os membros do grupo devem acordar nos parâmetros da decisão, ou seja, os critérios, alternativas, pesos dos atributos, limites de preferência. Somente após o consenso, a metodologia multicritério é aplicada. Utilizam essa abordagem os seguintes trabalhos: Salminen, Hokkanen e Lahdelma (1998) e Rogers, Bruen e Maystre (2000).

Na segunda abordagem, o consenso entre o grupo é necessário apenas sobre a definição do conjunto de alternativas potenciais. Cada membro define os parâmetros da decisão (critérios, limites de preferência, pesos) para então aplicar o método multicritério para obter o resultado de hierarquia. Em seguida, os resultados individuais são considerados como critério separado e as informações de preferência são agregadas numa hierarquia coletiva. Essa abordagem foi estudada por Macharis, Brans e Mareschal (1998) e Hajkowicz (2008).

Diante de todas as considerações feitas, ressalta-se que, mesmo com o avanço dos métodos e com o auxílio de ferramentas computacionais, como é o caso dos sistemas de decisão em grupo (GDSS – *Group Decision Support System*), é preciso ter cuidado com a aceitabilidade do procedimento adotado.

Islei e Lockett (1991) assinalar que os resultados gerados por métodos matemáticos podem não ser acolhidos pelos tomadores de decisão, mas procedimentos, como técnicas de negociação, podem auxiliar a refletir na decisão. Hajkowicz (2008) reforça esse pensamento,

quando diz que um procedimento matemático complexo é entendido apenas por alguns; é mister que o processo seja transparente e assimilado pelos agentes de decisão. Na perspectiva de Peniwati (2007), a escolha da técnica adequada deve prover que cada membro saiba do que está abdicando e o que está ganhando com seu emprego.

Conclui-se então que seja qual a metodologia a ser aplicada, é preciso a compreensão entre os membros participantes do processo decisório. Em alguns casos, a aplicação de técnicas simples podem resolver a questão do consenso. No caso em que haja dificuldade no consenso, pode-se optar pela agregação individual de preferência sem a necessidade de interação

3.5 Aplicações da literatura

Neste tópico, expõem-se as aplicações referentes ao emprego de metodologias multicritério de apoio à decisão na área de saneamento. A análise bibliográfica tem a função de investigar quais pesquisas englobam o tema em estudo e extrair dos casos similares. Procura-se investigar quais são os métodos empregados, assim como os critérios que levaram à decisão final. Serão vistos, também, os estudos realizados no Brasil para priorizar investimentos em projetos de saneamento. Finalmente, mostram-se as principais pesquisas relacionadas com decisões em grupo na área de saneamento.

3.5.1 Metodologias multicritério aplicadas em saneamento

Na área de recursos hídricos, destaca-se o estudo de Hajkowicz e Collins (2007), cuja análise de 113 artigos abrange 34 países que aplicaram análise multicritério para resolver problemas direcionados com o gerenciamento de recursos hídricos. Os resultados dessa pesquisa indicam, em um total de 98 artigos, quais as principais metodologias multicritério empregadas (figura 3.9).

Figura 3.9 – Aplicações MCDA no gerenciamento de recursos hídricos
 Fonte: Adaptado de Hajkowicz e Collins (2007, p. 1557)

O gráfico demonstra que as metodologias multicritério exercem papel importante na resolução de problemas relacionados com recursos hídricos e abastecimento de água. Observa-se que o maior número de publicações está voltado para análise de conjuntos nebulosos (*fuzzy set analysis*) e programação de compromisso (*Compromise Programming*). Os métodos multicritérios de sobreclassificação (ELECTRE e PROMETHEE), quando somados, são bastante utilizados no âmbito internacional. Verifica-se crescente empenho para aplicação de métodos multicritério nessa área.

A pesquisa feita por Hajkowicz e Collins (2007) compreende as duas áreas: hidrologia e saneamento, no entanto, pretende-se explorar na revisão bibliográfica os artigos referentes aos sistemas de abastecimento de água e esgotamento sanitário. Os quadros 3.6 e 3.7 mostram as principais aplicações pesquisadas na área de saneamento, os respectivos métodos multicriteriais e os critérios de decisão.

Quadro 3.5 – Aplicações multicritério em abastecimento de água

Autores	Problema	Método Multicritério	Critérios
Abu-Taleb e Mareschal (1995)	Selecionar alternativas para o abastecimento de água na Jordânia. As alternativas foram divididas em quatro categorias: opções tecnológicas, opções de precificação, opções administrativas, opções regulatórias.	PROMETHEE V	qualidade da água (subterrânea e superfície) disponibilidade de água (subterrânea e superfície) sedimentação, qualidade do solo paisagem/ recreação qualidade do ar conservação da água área irrigada índice de cobertura retorno sobre o investimento energia necessária
Cordeiro Netto, Parent e Duckstein (1996)	Resolver o problema de planejamento de abastecimento de água no sul da França	ELECTRE III	financiamento operação do reservatório impacto ambiental impacto social custo de construção e operação efeitos macroeconômicos benefícios para agricultura
Al-Kloub, Al-Shemmeri e Pearman (1997)	Desenvolveram a hierarquização de projetos de abastecimento de água na Jordânia	PROMETHEE II e GAIA	maximizar abastecimento de água maximizar utilização da demanda comprometimento com o plano comprometimento com a reconstrução proteção aos recursos hídricos imagem pública

(continua)

Quadro 3.5 - Aplicações multicritério em abastecimento de água (continuação)

Autores	Problema	Método Multicritério	Crítérios
Joubert, Stewart e Eberhard (2003)	Priorizar as opções de intervenções para o aumento da disponibilidade do abastecimento de água. As alternativas foram divididas em três categorias: aumento da disponibilidade de água, controle da demanda e reúso de água.	Função Utilidade Multiatributo (MAUT)	tecnologia (risco, tempo de execução) financeiro (valor presente líquido, mudança na tarifa) sócio-econômico (impacto na saúde, geração de emprego) político (aceitação pública, institucional) ambiental (qualidade da água)
Abrishamchi et al (2005)	Selecionar alternativas de sistemas de abastecimento de água com objetivo de suprir a demanda da cidade de Zahedan no Irã.	Programação de Compromisso	econômico (custo total) social (aprovação pública, impacto político) saúde pública (qualidade da água, impacto na saúde) técnico (flexibilidade, controle da demanda de água) sustentabilidade (disponibilidade reduzida, impacto na população)
Zarghami, Abrishamchi e Ardakanian (2008)	Investigar a integração entre as medidas para melhorar o abastecimento de água na cidade de Zahedan. Entre as medidas estão detecção de perdas no sistema, abastecimento de água subterrânea.	Programação de Compromisso	minimizar o custo maximizar a disponibilidade de abastecimento minimizar impacto social
Fattahi e Fayyaz (2009)	Modelo matemático para otimizar a distribuição de água na cidade de Hamedam no Irã.	Programação de Compromisso	perda no sistema custo total nível de satisfação social
Chung e Lee (2009)	Aplicam multicritério para estudar os efeitos da quantidade e qualidade de água que foram obtidos por simulação hidrológica.	AHP	qualidade de água (população, DBO) quantidade de água (população, densidade, área urbana)

Fonte: elaboração própria

Quadro 3.6 – Aplicações multicritério em esgotamento sanitário

Autores	Problema	Método Multicritério	Critérios
Tecle, Fogel e Duckstein (1988)	Selecionar a alternativa mais apropriada de tratamento de esgoto nos Estados Unidos	Programação de Compromisso; Teoria dos jogos; ELECTRE I	vulnerabilidade de poluição qualidade da água nível de tratamento obtido quantidade de efluente utilizado reabilitação, compatibilidade resiliência, flexibilidade custo de capital, operacional e administrativo área mão-de-obra
Al-Rashdan et al (1999)	Hierarquia das técnicas de tratamento de esgotamento sanitário	PROMETHEE II e GAIA	abastecimento de água, urgência ambiental, irreversibilidade ambiental impacto na saúde, imagem do empreendimento, população atingida qualidade da água, viabilidade técnica, viabilidade econômica, impacto cultural, legislação, flexibilidade, oportunidade
Anagnostopoulos, Gratziau e Vavatsikos (2007)	Selecionar o processo de tratamento de águas residuais	AHP	Custo (terreno, construção, operação e manutenção) Ambiental (performance, vazão, lodo) social (imagem do empreendimento, odor)
Bertrand-Krajewski et al (2007)	Hierarquizar estratégias para reabilitar sistemas de esgotamento sanitário	ELECTRE III	ambiental: liberação nitrogênio, concentração de DQO financeiro: custo operacional, investimento total, custo anual
Gómez-López et al (2009)	Escolha da melhor técnica para o tratamento de águas residuais	TOPSIS	qualidade da água: pH, turbidez, DBO, coliformes fecais custo: operação e manutenção social: imagem do empreendimento ambiental: economia de energia, resíduos, emissão de gases

Fonte: elaboração própria

Cai, Lasdom e Michelsen (2004) desenvolveram um sistema de apoio à decisão para resolver a questão de saneamento no norte da China. Entre as alternativas estavam seis planos de ação que consideravam tanto medidas voltadas para o abastecimento de água como para tratamento de esgoto. O método desenvolvido tem como base o Teorema de Tchebycheff, programação multiobjetivo e negociação em grupo. Os critérios de avaliação atribuídos pelo grupo de especialistas foram: desenvolvimento econômico, bem-estar social (taxa de empregabilidade), preservação ambiental (concentração de DBO), sustentabilidade da agricultura (produção agrícola *per capita*), viabilidade financeira (custo do projeto).

Azevedo et al (2000) propõem um sistema de apoio à decisão para avaliar seis alternativas de gerenciamento dos recursos hídricos na bacia do rio Piracicaba. Nesse caso, foram estudados dois aspectos importantes - qualidade e quantidade de água. Teixeira e Porto (2008) sugerem um modelo matemático, denominado de AcquaNet, para medir a quantidade e qualidade de água na mesma bacia. Nesse caso, a quantidade de água foi avaliada pela otimização das vazões na bacia do rio Piracicaba. Enquanto, o modelo de qualidade de água buscou determinar as concentrações de diversos parâmetros da água como DBO, coliformes totais, nitrito, nitrato, entre outros.

Nos estudos ora mencionados, fica evidente a importância de naturezas distintas na avaliação de projetos: sociais, ambientais, econômicas. Vale observar que muitos dos critérios são de natureza qualitativa, comprovando a necessidade de parâmetros subjetivos para avaliação de projetos de saneamento.

O critério qualidade da água, avaliado por indicadores como a concentração da demanda bioquímica de oxigênio (DBO) foi preponderante tanto para avaliação de projetos de abastecimento de água como para projetos de esgotamento sanitário. Esse critério juntamente com liberação de nitrogênio e emissão de gases, foram associados como critérios ambientais. Houve, decerto, uma preocupação nessa área para selecionar as alternativas de saneamento.

O aspecto social teve forte repercussão na avaliação de projetos, definidos por questões como: imagem do empreendimento, aprovação pública, nível de impacto na sociedade. Além disso, impacto na saúde se mostrou como elemento de preocupação na área de saneamento. Por fim, quanto ao aspecto econômico, foram considerados preponderantes nos estudos avaliados os custos de construção, operação e manutenção do sistema.

3.5.2 Aplicações no Brasil para priorização de projetos em saneamento

No Brasil, foram realizadas algumas pesquisas para resolver o problema de priorização de projetos de saneamento. O estudo de Teixeira e Heller (2001) propõe um modelo de priorização de investimentos com ênfase em indicadores de saúde aplicados em uma companhia de saneamento. Os indicadores utilizados foram: coeficiente de mortalidade infantil, índice de cobertura dos serviços, índice de desenvolvimento humano como critérios de decisão. Nesse caso, foram utilizados múltiplos critérios (epidemiológico, sanitário, financeiro e social). Posteriormente, os autores ampliaram os critérios para: valor presente custos do projeto, valor presente líquido, população beneficiada e mortalidade infantil (TEIXEIRA; HELLER, 2003).

Os critérios de natureza epidemiológica, sanitário, social, ambiental e urbanístico foram considerados na priorização de investimentos em saneamento por Teixeira e Cardoso de Mello (2008). Para compor os critérios, foram utilizados indicadores municipais, como: taxa de mortalidade infantil, índice de cobertura dos serviços de água ou de esgotamento sanitário ou de coleta de lixo, índice de desenvolvimento urbano, grau de urbanização.

É importante observar que, nesses casos não houve aplicação de metodologias multicritério de apoio à decisão. O processo de tomada de decisão foi realizado pela ponderação dos critérios e multiplicados pelas alternativas, e as ações selecionadas foram aquelas que apresentaram maiores pontuações.

A utilização de um sistema de apoio à decisão para investimento em projetos de abastecimento de água foi considerada por Harada (2001) com o emprego do método PROMETHEE II para auxiliar na ordenação de prioridades em empreendimentos de saneamento. O autor utilizou como critérios: impacto social e ambiental, custo do investimento, população atendida, potencial de retorno do investimento, fase de avaliação junto ao Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID).

A utilização de metodologia multicritério no Brasil é constatada por Zuffo (1998) e Zuffo et al (2002) cujo objeto foi reabilitar, expandir e conservar a bacia do rio Cotia, afluente do rio Tietê. O conjunto de ações a serem selecionadas consistia como estratégias de reúso para a estação de tratamento de esgoto (ETE-Barueri). Foram adotados 20 critérios e nove diferentes alternativas que foram avaliadas por cinco métodos: ELECTRE II, PROMETHEE II, Programação de Compromisso, Teoria dos Jogos Cooperativos e o AHP. Entre os critérios

citam-se: econômico (benefício/custo), ambiental (acidentes, fauna, área protegida legal, aquático, vegetação natural, planície de inundação, mata ciliar), técnico (qualidade água, vazão, água subterrânea, erosão, enchentes), social (atratividade, saúde física, lazer, empregos, reassentamento, qualidade de vida, mudança de atividades).

Nos estudos de Moraes e Almeida (2006), verificou-se a aplicação do método ELECTRE I para escolher em qual distrito no Estado de Pernambuco haveria investimento no sistema de abastecimento de água. Entre os critérios utilizados, encontram-se custo de investimento, qualidade de água e turismo.

No que diz respeito à política pública de saneamento, Silva (2000) propõe uma metodologia em quatro estádios e aplicação de 11 indicadores ecológicos/econômicos. Esta pesquisa contribui para introduzir uma visão ecológica na definição de políticas públicas da gestão de recursos hídricos. A pesquisa utilizou o método de avaliação de impactos ambientais Batelle-Columbus para a definição do conjunto de indicadores.

Neves (2000) aplica o método AHP para selecionar alternativas de projetos de esgotamento sanitário. Os critérios de decisão foram: financeiro referente ao empreendimento, financeiro relativo à execução, ambiental voltado para melhoria da qualidade da água, econômico, social e o efeito demonstrativo do empreendimento. Ainda para esgotamento sanitário, Oliveira (2004) utiliza a técnica de árvore de decisão para auxiliar na escolha de uma entre oito propostas de tratamento de esgoto.

Silva, Nascimento e Silva (2008) sugerem um modelo de programação linear para a hierarquização de projetos de saneamento que considera o indicador de salubridade ambiental. O modelo procura maximizar as condições de salubridade para as comunidades beneficiadas. A escolha de sistemas de tratamento de esgoto é feita por Leoneti (2009) em que aplica o método AHP, tendo como base critérios econômicos, ambientais e técnicos.

Souza, Cordeiro e Silva (2009) aplicaram quatro métodos multicritério (ELECTRE III, CP-Programação de Compromisso, TOSIS e PROMETHEE II) para hierarquizar quatro alternativas tecnológicas para a gestão de lodo de fossa/tanque séptico. Os critérios para a seleção das alternativas apresentam-se no quadro 3.7.

Quadro 3.7 – Critérios do sistema de fossa séptica / tanque séptico

Restrições técnicas (fase 1)		Avaliação tecnológica (fase 2)		
Técnica	declividade do terreno	Ambiental	sanidade	complexidade para implantação
	nível máximo do lençol freático		remoção de carga orgânica	complexidade para operações
Custo	espessura do solo		Operacional	facilidade para expansão do sistema
	demanda por área			estabilidade do sistema
Custo	custo de implantação energia exigida	Econômico	necessidade de área	operação e manutenção
			emissão de gases	custo de implantação
			impacto na qualidade da água	custo de desmobilização destinação final

Fonte: Adaptado de Souza, Cordeiro e Silva (2009)

De acordo com os estudos, é constatada a necessidade de seleção de alternativas de projetos em saneamento no Brasil, no entanto, em apenas alguns casos, foi utilizada a metodologia multicritério, ao contrário da realidade internacional. Nota-se que os métodos multicriteriais ou técnicas de apoio à decisão estão ganhando espaço no contexto do saneamento no Brasil, o que é constatado pelo aumento nas publicações nos últimos cinco anos.

Nos estudos mencionados, observa-se a importância de fatores com dimensões sociais, ambientais e de salubridade. A preocupação social e com a saúde está estritamente ligada com o saneamento e indicadores como mortalidade infantil e índice de desenvolvimento humano (IDH) fazem parte da avaliação de tais projetos. Observa-se, também, intensa participação de fatores ambientais na avaliação de projetos de saneamento que deve ser considerada como estratégia de proteção nacional dos recursos hídricos.

De forma geral, a revisão na literatura foi importante para o mapeamento de como estão se desenvolvendo os estudos de métodos multicritérios de apoio à decisão na área de saneamento, tanto no âmbito nacional como no internacional. Foi importante analisar quais os principais critérios de avaliação se utilizam na decisão em saneamento.

4 MÉTODO DE PESQUISA

Este capítulo tem como objetivo apresentar, no primeiro momento, todas as propriedades da metodologia de pesquisa, incluindo enfoque da pesquisa, as técnicas fontes de evidência necessárias para atingir os objetivos da tese. Em seguida, pretende-se expor a sequência de etapas referente à metodologia multicritério de apoio à decisão. O segundo tópico é importante para compreender o desenvolvimento e aplicação do modelo proposto de priorização, cujas etapas são apresentadas na descrição do planejamento de pesquisa.

4.1 Características científicas da pesquisa

Os métodos de pesquisa são classificados, quanto à forma de abordagem, em qualitativos e quantitativos. O enfoque qualitativo procura coletar dados sem a necessidade de medição numérica para descobrir ou aperfeiçoar as questões de pesquisa. Nesse caso, pode haver no processo de interpretação a prova ou não das hipóteses. O enfoque quantitativo faz uso da coleta de dados para testar hipóteses por meio de medição numérica e análise estatística com a finalidade de estabelecerem padrões de comportamento (SAMPIERI; COLLADO; LUCIO, 2006).

Na pesquisa qualitativa, é fundamental entender o fenômeno estudado e, para isso, se utilizam técnicas como entrevistas abertas, discussão em grupo e avaliação de experiências pessoais. Nesse enfoque, não se tem a intenção de generalizar os resultados nem fazer uso de amostra representativa, mas explorar e descrever o fenômeno por meio de processo indutivo.

Com tais definições, pode-se afirmar que a pesquisa abordada tem enfoque qualitativo. O modelo de apoio à decisão utilizou modelos matemáticos e as variáveis empregadas resultam em pesquisa na literatura. Para isso foi necessário entender o fenômeno, no caso, o processo de tomada de decisão de priorização de projetos no âmbito do saneamento.

Sampieri, Collado e Lúcio (2006) listam as atividades do pesquisador qualitativo, entre as quais se destacam: o pesquisador está diretamente envolvido com as pessoas estudadas e com suas experiências pessoais; segue uma perspectiva holística e individual; mantém uma perspectiva dupla: analisa os aspectos explícitos, conscientes e manifestos, bem como aqueles

implícitos, inconscientes e subjacentes. Assim, a realidade subjetiva em si mesma é objeto de estudo. Essa abordagem pode ser comparada com a metodologia multicritério de apoio à decisão no momento em que os métodos consideram as preferências subjetivas dos agentes de decisão. Os procedimentos da metodologia fazem com que o processo de decisão seja entendido como um todo, permitindo assim uma visão holística do sistema e a modelagem de preferências faz com que se tenha uma visão individual.

Quanto à área da ciência, as pesquisas classificam-se em teórica, metodológica, empírica e prática. Demo (2000) define os quatro tipos de pesquisa como:

- pesquisa teórica – procura constituir teorias, conceitos, idéias, ideologias, polêmicas. Em termos imediatos a pesquisa, busca-se aprimorar os fundamentos teóricos e, em termos mediatos, aprimorar práticas;
- pesquisa metodológica – seu objetivo é inquirir métodos e procedimentos que são adotados como científicos;
- pesquisa empírica – trata da face empírica e fatural da realidade, de preferência mensurável, além disso, produz e analisa os dados; e
- pesquisa prática – utiliza a prática em termos de conhecimento científico para fins explícitos de intervenção.

Essas definições indicam que este estudo é metodológico. O estudo propõe um modelo que tem a intenção de sistematizar e tornar a decisão racional para aprovação de projetos em saneamento. Nesse modelo é analisado todo o processo de tomada de decisão com recomendações para cada etapa.

O problema multicritério pode ser visto sob dois enfoques - prescritivo e construtivo. Para Gomes (2007), no enfoque construtivo, a estruturação da decisão se dá de forma interativa do analista com os agentes de decisão. Nesse caso, há uma evolução do processo pela troca de informações entre o analista e seus demais integrantes do processo. O enfoque prescritivo parte da descrição de todos os elementos do problema e pode considerar inclusive a descrição sobre as preferências dos decisores.

Após a conceituação, pode-se entender que aplicação da pesquisa tem semelhança com o enfoque prescritivo uma vez que os elementos da decisão foram coletados com base em documentos, entrevistas e planilhas de um caso real. Nesses documentos, foram estudados as alternativas e os critérios, assim como as regras de hierarquização de projetos. As preferências

dos agentes de decisão, no entanto, foram coletadas por meio de entrevistas conforme os métodos propostos.

Outra classificação para os problemas de decisão é dividi-los em discretos ou contínuos. Problemas discretos são aqueles em que o número de alternativas é finito e contínuo os problemas em que é infinita ou muito grande a quantidade de alternativas. Entre os métodos discretos, destacam-se: MAUT, AHP, ELECTRE e PROMETHEE. Os métodos contínuos são aqueles de otimização multicritério ou métodos interativos. Suas aplicações envolvem programação matemática com mais de uma função-objetivo (GOMES, L.; GOMES, F.; ALMEIDA, 2002).

4.2 Planejamento da pesquisa

De acordo com Silva e Menezes (2001), o planejamento de uma pesquisa depende basicamente de três fases: a fase decisória referente à escolha do tema, definição e delimitação do problema de pesquisa; a fase construtiva, referente à constituição de um plano de pesquisa e consiste na execução da pesquisa propriamente dita; e, por último, a fase redacional, consistente na análise dos dados e informações obtidas na fase construtiva em que ocorre a organização das ideias de forma sistematizada, visando à elaboração do relatório final. Nessa linha, elaborou-se um fluxo (figura 4.1) para descrever e organizar as atividades referentes ao planejamento do modelo de priorização de projetos em saneamento. O fluxo é composto por oito atividades que vão desde o surgimento do tema até os resultados.

O início do fluxograma diz respeito ao surgimento do problema de pesquisa. O tema priorização de projetos em saneamento foi identificado em um grupo de trabalho de uma companhia estadual de saneamento. A demanda por projetos e obras era muito alta e se necessitava de uma política ou metodologia eficiente para priorizar os investimentos. Algumas demandas eram urgentes e não havia distinção entre priorizar projetos de médio e longo prazo como também divergência entre as áreas envolvidas. Formou-se então um grupo multidisciplinar, porém faltavam a base científica e uma metodologia adequada para sanar o problema.

Uma vez entendida a importância e utilidade do tema, elaborou-se um projeto de pesquisa cuja finalidade é aplicar a metodologia multicritério de apoio à decisão para resolver a

questão de pesquisa: como aprimorar a priorização de projetos em saneamento para garantir uma distribuição dos serviços de água e esgoto de forma eficiente?

Figura 4.1 - Fluxograma do planejamento da pesquisa
Fonte: elaboração própria

A elaboração do projeto buscou definir uma sequência de ações a serem realizadas ao longo da pesquisa. Nesse momento, a pesquisa passou a ter uma estrutura formal e sistemática conforme um método científico. Projeto de pesquisa tem como objetivo resolver: quais questões a estudar, quais dados relevantes, quais dados coletar e como analisar os resultados. Assim, o projeto de pesquisa é muito mais do que um plano de trabalho, sua finalidade é evitar a situação em que as evidências obtidas não remetem às questões iniciais da pesquisa (YIN, 2001).

Após o delineamento traçado, foi iniciado o desenvolvimento do modelo proposto de priorização de projetos em saneamento. Observa-se, pela figura 4.1, que tanto a fase de projeto de pesquisa como o desenvolvimento do modelo fizeram uso da revisão na literatura. A pesquisa bibliográfica partiu de referências em livros, periódicos, artigos e documentos que relatam aplicações semelhantes no setor de saneamento em âmbito nacional e internacional. Esta pesquisa procurou, não somente a fundamentação teórica para o desenvolvimento do modelo proposto, mas também verificar e mapear quais os métodos multicritérios, as alternativas de projetos de saneamento e os critérios relevantes.

O modelo desenvolvido é meramente a abstração e representação do processo de decisão sobre a priorização de projetos de saneamento. Dye (2009) aponta as vantagens de um modelo conceitual para estudar as políticas públicas. Esses pontos positivos são semelhantes ao modelo proposto. São eles: simplificar e esclarecer ideias, identificar aspectos importantes de questões político-sociais; ajudar na comunicação, focalizando as características essenciais da vida política; direcionar os esforços para compreender melhor as políticas públicas, sugerir o que é importante; propor explicações e prever suas consequências.

O desenvolvimento do modelo compreende as seguintes etapas: estruturação do problema, análise de alternativas, conhecimento das técnicas de decisão em grupo, análise dos critérios relevantes para decisão, escolha dos métodos multicritério de apoio à decisão, sugestões de SAD conforme os métodos escolhidos. Essas fases estão detalhadas no próximo tópico.

O objetivo principal do modelo proposto é orientar e auxiliar os agentes de decisão no processo de decisão que diz respeito à hierarquização de projetos de abastecimento de água e esgotamento sanitário. Pretende-se que o modelo tenha caráter operacional, ou seja, referir-se diretamente a fenômenos que possam ser observados, medidos e verificados.

Após o desenvolvimento do modelo multicritério de priorização, foi feita uma aplicação numérica que teve como objetivo estudar o comportamento deste diante de uma situação real. Nessa fase é feita a análise do modelo em um caso prático de priorização de projetos de saneamento. Conforme os conceitos de Yin (2001), esta aplicação tem como escopo investigar o fenômeno contemporâneo dentro do seu contexto da vida real, especialmente quando os limites entre o fenômeno e o contexto não são claramente definidos. Assim, a aplicação numérica tem o propósito de validar o modelo proposto presente em uma situação real.

A aplicação, conforme detalhado do capítulo 6, foi feita no contexto da bacia dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí. A figura 4.1 indica que a aplicação numérica é composta por dois subprocessos principais: a coleta de dados e a modelagem de preferências.

Para coleta de dados, se buscaram em planilhas e deliberações os dados sobre os empreendimentos hierarquizados. A modelagem de preferências se deu por meio de entrevistas diretas aos agentes de decisão em que se buscou identificar os aspectos subjetivos sobre os parâmetros do processo.

A última etapa consiste na análise e resultados de hierarquização dos projetos de recuperação da qualidade dos corpos d'água, seguida pela última etapa que consiste nas conclusões da aplicação, conforme abordado no último capítulo desta tese.

4.3 Etapas da metodologia de apoio à decisão

A vantagem da metodologia de apoio à decisão multicritério é auxiliar não apenas a obtenção do resultado, mas a compreensão de todo o processo. Sua aplicação requer uma sequência de etapas que devem ser exploradas. No intuito de entender a metodologia apresentam-se os modelos de objetivos (MO), regras (MRN) e processos de negócios (MPN) conforme a metodologia EKD - *Enterprise Knowledge Development*.

Enterprise Knowledge Development é uma metodologia de modelagem organizacional que possibilita analisar, desenvolver e documentar um negócio por meio da descrição clara dos seus objetivos, processos e requisitos (BUBENKO; PERSSON; STIRNA, 2001). Segundo Vernadat (2006), a principal vantagem de um modelo organizacional é possibilitar uma visão comum dos acontecimentos de uma organização para os principais atores da organização.

Em geral, o EKD proporciona técnicas de conhecer uma organização por meio de seus modelos que podem ser separados em três níveis: objetivos organizacionais, processos organizacionais e sistemas de informação. Destacam-se também os submodelos: objetivos organizacionais, regras de negócio, processos, atores e recursos, conceitos, requisitos e componentes técnicos. As instruções para esses modelos são encontradas no manual do usuário de EKD em Bubenko, Persson e Stirna (2001).

Vale ressaltar que a metodologia EKD considera diversos modelos organizacionais e sustenta uma filosofia particular, no entanto, a representação proposta não pretende abordar a sua filosofia de modelagem organizacional, mas utilizar a riqueza de seus modelos de objetivos e de processos para exemplificar a metodologia de análise multicritério. Esta exemplificação oferecida por esta ferramenta contribui para compreender a sistemática MCDA, seus componentes e particularidades. Os modelos também facilitam organizar, discorrer e descrever todos os conceitos vistos e abordados por diversos autores da área de tomada decisão.

Os modelos propostos tiveram origem no estudo de Campos, Castillo e Cazarini (2010) e foram reformulados conforme a necessidade do estudo em foco. Expõem-se aqui duas representações (figuras 4.2 e 4.3) que correspondem aos modelos de objetivos, regras de negócio e processos. Essas figuras mostram os objetivos de um problema multicritério junto com suas regras e a seqüência de atividades da metodologia AMD.

É importante ressaltar que essas representações foram desenvolvidas como genéricas, ou seja, podem se aplicar em qualquer problema multicritério. Alguns componentes que constam nas representações podem ser alterados e detalhados em níveis até operacionais, dependendo do caso ou tipo de método multicritério.

Nos modelos apenas as variáveis e conceitos principais foram considerados por motivo de simplificação. Salienta-se que a metodologia EKD não foi aplicada explorando toda sua potencialidade, todavia foi priorizado o uso da linguagem de modelagem que ela oferece.

4.3.1 Modelos de objetivos e regras de problema multicritério

O Modelo de Objetivos (MO), em sua essência, inclui não só os objetivos, mas também os desafios que os limitam. Nesse modelo, procura-se resolver a questão de onde se quer chegar, quais são as metas primordiais e como é o relacionamento entre os objetivos.

O Modelo de Regras do Negócio (MRN) procura guiar os objetivos e processos. As regras podem operacionalizar ou delimitar todos os objetivos e ações. Nesse sentido, as regras controlam a organização para definir e delimitar suas ações. O modelo proposto contém dois modelos: objetivos e regras de negócio (figura 4.2).

Figura 4.2 - MO e MRN para metodologia de apoio à decisão multicritério
Fonte: elaboração própria

O principal objetivo de um problema multicritério é obter uma decisão que seja satisfatória e racional. Para alcançar essa meta, o primeiro objetivo é decomposto em três subobjetivos: estruturar um problema de forma sistemática, ter um modelo multicritério que permita a comparação entre as alternativas e contar com uma decisão planejada. A figura 4.2 indica que o primeiro objetivo é delimitado por uma regra e três desafios enquanto os três subobjetivos estão sob o controle de quatro regras.

O primeiro objetivo pode ser exemplificado pela visão de Campello de Souza (2002), para quem uma boa decisão deve ser a consequência lógica do que se quer; daquilo que se sabe; do que se pode fazer. De acordo com sua definição:

- o que se quer - está relacionado com as preferências que se tem pelas várias consequências das decisões;
- o que se sabe – diz respeito ao conhecimento de grandezas envolvidas e das relações entre estas grandezas;
- o que se pode fazer – consiste nas alternativas possíveis de ação.

O processo de tomada de decisão deve conduzir para que as alternativas escolhidas sejam de tal forma que suas consequências se tornem as mais favoráveis possíveis. Resolver esta questão é o objetivo principal da tomada de decisão multicritério e, para isso, faz uso de modelos matemáticos.

A primeira regra é fundamental para a definição caracterizar o problema multicritério. Nessa regra afirma-se que os critérios são pelo menos dois e conflitam entre si. Além disso, nesse tipo de problema, os critérios e as alternativas podem estar interligados, podendo mesmo um critério influenciar parcialmente outro critério (GOMES, L.; GOMES, F.; ALMEIDA, 2002).

O primeiro desafio dá ênfase à presença de risco e incerteza na solução do problema. Entre as incertezas estão: preferência das alternativas, o papel do decisor na organização, o grau de importância de cada critério (PARREIRAS et al, 2010). Além disso, os riscos das decisões podem ser fruto da falta de conhecimento sobre as consequências das ações, fato este previsto no modelo pela regra 6.

Drucker (2001) declara que os julgamentos envolvendo riscos que um agente deve fazer não são frequentes, mas decisivos. Para o autor, toda decisão é um julgamento e envolve risco que pode ser compreendido se o processo decisório for analisado por meio da sequência de etapas.

As restrições de tempo e recurso (desafio 2) limitam o objetivo principal. Para que uma decisão complexa seja bem planejada, é preciso considerável tempo. Muitas vezes a decisão é tomada em paralelo com outras atividades organizacionais e pode haver limitação de recursos para decisão, como pessoas especializadas ou mesmo informações precisas que auxiliem na formulação dos critérios. Para sanar essa limitação, é interessante envolver agentes de decisão multidisciplinares no processo.

Uma das características do problema multicritério é a diferença entre pontos de vistas (desafio 3), valores e preferências dos atores e agentes de decisão. A subjetividade dos agentes de decisão são frutos de suas percepções individuais e são importantes para obter uma solução satisfatória. Os pontos de vista a reter na decisão não deverão ser muitos para que seja praticável, todavia não deverão ser tão poucos de modo a negligenciar fatores importantes e interesses fundamentais dos atores (MONTGOLFIER, 1975 *apud* BANA E COSTA, 1988)

Outro ponto importante a ser observado na visão de Bouyssou (1992) é quando na decisão consideram-se diferentes visões conflitantes. Talvez não seja simples a comparação entre as alternativas por valores numéricos.

Deve-se atentar para a terceira regra, que prevê a identificação dos principais intervenientes da decisão sejam eles os atores que têm interesse sobre as consequências desta. É necessário também determinar os reais responsáveis pela decisão, ou seja, aqueles que têm papel fundamental no processo, pois suas preferências é que serão modeladas. É de grande relevância também a quarta regra, que fala sobre o uso de uma linguagem-padrão e formal. Tsoukiàs (2008) diz que a utilização de uma linguagem formal no processo de decisão faz com que sejam reduzidas as ambiguidades de comunicação entre os atores. Para isso, deve-se haver no início do processo um nivelamento de conceitos auxiliado pelo analista.

A regra cinco busca assegurar que o analista evite julgar em nome do decisor. Segundo Roy (1996), o analista tem a responsabilidade de explicar, justificar e auxiliar o decisor, mas isto deve ser feito independentemente de seu julgamento ou valor. Outro problema que pode haver é que o agente de decisão inexperiente tem a tendência de aceitar qualquer solução oferecida pelo analista (HOKKANEN; SALMINEN, 1997).

4.3.2 Modelo de processos de negócio para um problema multicritério

O Modelo de Processos de Negócio (MPN) permite conhecer os processos e fluxos de informação, além de relacionar as atividades em concordância com o MO. Este modelo tem por finalidade definir quais são os processos e suas devidas interações. Os processos para um problema multicritério genérico são visualizados pela figura 4.3. A vantagem desta representação proposta é poder visualizar de forma clara a interligação e influência entre os processos, de forma a ver os produtos e informações gerados entre eles.

As quatro divisões do modelo de processos de decisão multicritério foram inspiradas na estruturação estabelecida por Belton e Stewart (2002), apresentada anteriormente pela Figura 3.1. Além dessa organização, a sequência de etapas utilizou a visão de Gomes (2007), que divide o processo de decisão com múltiplos critérios em sete fases: identificação dos atores e decisor(es) do problema, listagem das alternativas, definição dos critérios relevantes, avaliação das alternativas, determinação da importância relativa dos critérios, determinação das soluções satisfatórias e análise de sensibilidade. A representação proposta, no entanto, considerou não só esta sequência de atividades, mas acrescentou outros processos relevantes para a metodologia de apoio à decisão.

No modelo, a estruturação do problema multicritério é definida como primeira fase do processo e visa atender ao objetivo 1.1 do MO. Esta fase é composta pelos processos: definir o problema e identificar os atores envolvidos. A situação e o ambiente onde o problema está inserido devem estar nitidamente identificados, por meio do levantamento de informações (GOMES, L.; GOMES, F.; ALMEIDA, 2002).

Figura 4.3 - MPN para metodologia de apoio à decisão multicritério

Fonte: elaboração própria

A segunda fase corresponde à construção do modelo multicritério e está em congruência com o objetivo 1.2. Também se apoia pelo levantamento de todas as variáveis necessárias para a evolução da decisão até a escolha do método multicritério. Isto faz com que o problema se torne transparente. Esta fase é composta por: definição da problemática, definição das alternativas, escolha do método multicritério, construção da matriz de decisão, aplicação do(s) método(s) multicritério(s), construção da modelagem de preferência.

É importante observar que, no momento da definição das alternativas (processo 4) e definição dos critérios (processo 5), Hammond, Keeney e Raiffa (2001) recomendam que quanto maior o número de alternativas e quanto mais objetivos estiver pretendendo alcançar, mais concessões terão que fazer. É o fato de que cada critério tem a própria base de comparação e quanto maior o número de comparações maior a quantidade de compensações entre os atributos.

Obtidos todos os parâmetros necessários para o desenvolvimento do modelo de apoio à decisão, pode-se escolher o método multicritério que deve estar de acordo com as características do problema e atender aos requisitos almejados (tipo de problemática e estrutura de preferência). As características do modelo multicritério vão indicar qual o método mais adequado para resolução do problema, sejam eles discretos ou contínuos. O método a ser utilizado deve ser criteriosamente escolhido. Para isso, é necessária a experiência do analista, pois ele conhece todas as particularidades de cada método. A justificativa de escolha dos métodos para o modelo de priorização proposto está detalhada no próximo capítulo, cuja modelagem indicou dois métodos satisfatórios para o problema.

A terceira fase é a utilização do modelo para informar e alinhado com o objetivo 1.3 do M.O. Os resultados da aplicação do método multicritério vão sinalizar as possíveis soluções satisfatórias para o problema. Essa fase é composta pelos processos: análise de sensibilidade e avaliação dos resultados. A análise de sensibilidade é essencial para problemas multicriteriais de sobreclassificação, pois serve para compreender melhor o desempenho das alternativas, uma vez que enxerga sua estabilidade por meio de alterações nas preferências do decisor.

4.4 Resumo do método de pesquisa

O resumo sobre todas as características do método de pesquisa - o processo de planejamento da pesquisa - está exposto no quadro 4.1. O quadro divide-se em duas seções: as características científicas da pesquisa e os elementos do modelo proposto de apoio à decisão para priorizar projetos de saneamento.

Quadro 4.1 – Síntese da pesquisa

Método científico	
Quanto ao enfoque da pesquisa	Qualitativa
Quanto à área da ciência	Metodológica
Instrumentos de pesquisa	Pesquisa na literatura, análise de documentos, entrevistas, aplicação de SAD
Modelo de apoio à decisão multicritério	
Enfoque	Prescritivo
Tipo de método	Discreto
Classe do método	Métodos de sobreclassificação
Métodos	PROMETHEE II & GAIA, ELECTRE IV
Estrutura de preferência	Pré-ordem completa, ordem completa
Problemática	Hierarquia
Fonte: elaboração própria	

O quadro 4.1 expõe o resultado dos conceitos abordados não só nesse capítulo, mas também ao longo da apresentação desta tese. Pretende-se com esta pesquisa prover condições para que todo o delineamento científico traçado possa ser replicado em estudos similares.

5 MODELO DE PRIORIZAÇÃO PARA PROJETOS DE SANEAMENTO

Este capítulo tem como objetivo apresentar e aplicar o modelo de apoio à decisão multicritério para priorização de projetos de saneamento. Portanto, capítulo divide-se em duas seções: apresentação do modelo e sua aplicação numérica. Todas essas etapas podem ser visualizadas na figura 5.1.

O modelo de priorização tem a função de estruturar o processo de decisão em que são definidos os elementos (intervenientes, alternativas potenciais, critérios, problemática), escolha dos métodos multicritérios, *softwares*, modelagem de preferência, avaliação de resultados e análise de sensibilidade. A intenção é garantir que a pesquisa tenha caráter operacional.

Observa-se pela figura 5.1 que recomendações geradas pelas primeiras etapas do modelo proposto contribuem para a estruturação do problema prático a ser estudado, enquanto as orientações referentes aos métodos multicritérios escolhidos apoiam as etapas de implantação dos dois métodos. Os resultados finais da aplicação numérica são úteis para o refinamento do modelo. Ressalta-se que as etapas que compõem o modelo multicritério e a aplicação numérica fazem parte da metodologia multicritério conforme a sequência (figura 4.3) indicada do Modelo de Processo de Negócio (MPN) apresentado no capítulo anterior.

Figura 5.1 – Modelo e aplicação numérica
 Fonte: elaboração própria

5.1 O processo de priorização de projetos

Os investimentos na área de saneamento são essenciais para o desenvolvimento da sociedade, porém, não há recursos suficientes para garantir a execução de todos os projetos ao mesmo tempo. Em decorrência desse fato, é preciso elaborar um plano para definir a ordem de prioridade desses projetos, em que se tenham regras claras e estáveis para garantir planejamento eficiente do setor.

Muitas vezes um projeto de abastecimento de água ou esgotamento sanitário resulta em um empreendimento de grande porte e requer altos investimentos. Sendo assim, esse projeto desde a sua aprovação percorre diversas fases até sua execução final. A figura 5.2 foi elaborada para ilustrar qual a fase em que o modelo de priorização deve tomar parte.

Figura 5.2 – Fases de priorização de projetos

Fonte: elaboração própria

Nota-se pela figura 5.2 que todo o processo de priorização está dividido em quatro fases: necessidade de investimento ou levantamento de demanda, triagem de projetos, aplicação do modelo de priorização e, por último, têm-se a lista final de projetos priorizados.

No primeiro momento, surgem as demandas que podem vir de prestadoras de serviço e essa demanda está relacionada com a captação, distribuição, coleta e tratamento da água e disposição final. Cada organização apresenta o próprio procedimento e forma de coletar dados referentes às demandas por projetos, além de realizar os estudos de viabilidade econômica e técnica.

Outro fator importante a ser observado são as exigências legais, cujas indicações foram levantadas no segundo capítulo. A aprovação de um projeto de abastecimento de água ou esgotamento depende de um conjunto de procedimentos regulatórios e normativos. Assim, o modelo de priorização segue após todas as condições estabelecidas por lei.

A sequência e como serão realizados os estudos difere para cada instituição, entretanto a ilustração serve para demonstrar que é interessante aplicar o modelo proposto após o a triagem de projetos, em razão da complexidade do processo de decisão. A decisão sobre hierarquia de projetos públicos faz parte de um longo processo cujo benefício deve ser em prol da sociedade e o resultado da aplicação do modelo consiste em uma hierarquia de projetos.

5.1.1 Intervenientes no processo de decisão

O setor de saneamento tem interface com diversas áreas em níveis federal, distrital, estaduais e municipais. O interesse público na decisão faz com que esta área tenha muitos atores. Sabendo que atores são todos aqueles que têm interesse na decisão, é possível listar algumas entidades e sua relação com a área de saneamento (quadro 5.1).

Quadro 5.1 - Atores do setor de saneamento e sua área de interesse

Atores	Área de interesse
Pesquisadores e instituições de pesquisa	Pesquisas na área da qualidade e controle da água, gestão pública, regulação técnica e econômica
Governos estaduais e municipais, Assembleia Legislativa e Câmara Municipal	Elaboração de políticas públicas, acompanhamento e fiscalização de gestão das concessionárias
Ministério Público, associações comunitárias e instituições de defesa do consumidor	Qualidade dos serviços prestados, defesa dos direitos dos consumidores, modicidade tarifária
Organizações não governamentais, Conselho Regional de Engenharia, Arquitetura e Agronomia (CREA), Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES)	Defesa do meio ambiente, qualidade dos serviços prestados
Agentes financeiros, investidores, organismos multilaterais e outras instituições de fomento	Avaliação e acompanhamento de investimentos para o setor

Fonte: Adaptado de Galvão Júnior e Silva (2006, p. 171)

Nota-se pelo quadro 5.1 a dimensão do setor. Além dessas entidades, destacam-se os cidadãos, os consumidores dos serviços de água e esgoto, as organizações da sociedade civil e os prestadores de tais serviços.

Entre os decisores, ou aqueles que irão decidir diretamente sobre o plano de priorização de investimento citam-se: o poder municipal, estadual, distrital, federal, as prestadoras de serviços de água e esgoto, comitês de bacias e conselhos de saneamento. As prestadoras de serviços de água e esgoto são formadas pelas companhias estaduais de saneamento e os serviços autônomos de água e esgoto (SAAEs).

Além desse, têm-se o papel dos comitês de bacias hidrográficas. São comitês de bacias os colegiados instituídos por lei, compostos pelo Sistema Nacional ou Sistema Estadual de Recursos Hídricos. Os comitês têm poder deliberativo e seu objetivo é gerenciar os recursos hídricos de forma descentralizada e integrada. Sua estrutura abrange representantes do Poder Público, da sociedade civil e de usuários de água.

5.1.2 Definição do tipo de decisão em grupo

A análise de investimento em projetos de saneamento, por ser política pública, requer a harmonia de vários pontos de vista, de forma sistemática e transparente. Assim, raramente, são decisões tomadas por apenas uma pessoa, mas por um grupo de indivíduos, de preferência, multidisciplinar.

Nesse panorama, são estudadas algumas das propriedades da decisão em grupo para auxiliar os agentes de decisão nos procedimentos de seleção de projetos sanitários. A revisão bibliográfica mostrou as principais características da decisão em grupo. Assim os resultados da pesquisa permitem classificar a decisão com múltiplos integrantes conforme o quadro 5.2.

Quadro 5.2 – Tipos de decisão em grupo

Tipo de decisão em grupo	Característica
Quanto à forma	cooperativa e não cooperativa
Quanto à regra	consenso, autoridade ou maioria
Quanto à manifestação do poder	declarado ou não declarado
Quanto à análise de preferência	interação em grupo ou agregação de preferências individuais
Técnicas de decisão	<i>Brainstorming</i> , NGT, Técnica Delphi, sistemas de suporte à decisão em grupo (GDSS)

Fonte: elaboração própria

Um dos principais ganhos da análise de decisão é poder visualizar de forma clara todas suas propriedades e analisar as consequências das ações. Faz sentido, então, estudar as características da decisão em grupo. Ressalta-se também que o número mínimo e máximo de membros no grupo pode variar dependendo do problema investigado.

O quadro 5.2 tem como premissa mostrar o processo de decisão em grupo conforme as abordagens estudadas. Assim, foram organizadas cinco propriedades: quanto à forma, à regra, à análise de preferência e às técnicas de decisão. Uma decisão em grupo pode ter a cooperação ou não de todos os seus integrantes. O motivo pode estar relacionado com as três situações anteriormente descritas, em que o decisor “não pode”, “não sabe como” ou “não quer decidir”.

Quanto à regra, corresponde aos tipos de regras em que há autoridade (apenas uma pessoa decide e os demais contribuem com informações), maioria (o resultado da decisão consiste naquele em que a maioria aceitou) e consenso (há concordância entre os membros).

Na abordagem quanto à análise de preferência, foram encontrados na literatura vários modelos para decisão em grupo. Para simplificar, dividiu-se esses em duas categorias de como ocorre a agregação das preferências. Algumas das propriedades observadas nos modelos encontrados estão resumidas no quadro 5.3.

Quadro 5.3 – Propriedades da agregação de preferências

Decisão em grupo	Tipo de agregação	Propriedades
	Interação do grupo	<ul style="list-style-type: none"> - É necessário um consenso entre os decisores - É possível combinar técnicas grupo com a metodologia multicritério de apoio à decisão (votação, <i>brainstorming</i>, mapas cognitivos) - Pode-se obter o consenso por intermédio de um mediador eleito por todos - Pode haver conflito entre os membros - Utiliza maior período de tempo e recursos.
	Agregação das preferências individuais	<ul style="list-style-type: none"> - Não é necessário um consenso imediato - Em muitos casos, utilizam-se algoritmos complexos - É de análise difícil quando há grande quantidade de decisores - Utiliza menor tempo e recurso para coleta de informações - Evita situações de conflito.

Fonte: elaboração própria

Vale dizer que as situações em que se utilizam técnicas de decisão em grupo e há interação dos membros podem apresentar maior aceitabilidade, uma vez que todos os membros passam a participar do processo. Já os modelos matemáticos propostos com o objetivo de agregar preferências individuais podem causar rejeição, por serem mais complexos, e nem sempre são entendidos por todos os participantes. As principais desvantagens do processo de decisão em que se necessita a interação do grupo são as possíveis situações de conflito, além de requisitarem em maior quantidade de tempo e recursos para sua implantação.

O último tópico do quadro 5.2 diz respeito aos tipos de técnicas para decisão em grupo: *brainstorming*, técnica Delphi, técnica nominal em grupo (NGT) e sistemas de suporte à decisão em grupo (GDSS). É importante observar que são inúmeras técnicas encontradas na literatura que resolvem o problema da decisão com múltiplos integrantes, mas o estudo restringiu-se a mostrar aquelas técnicas em que foram aplicadas juntamente com as metodologias multicritério de apoio à decisão.

É difícil dizer qual o tipo de decisão em grupo deve ser aplicada, pois a escolha vai depender de uma série de fatores como: preferências individuais, comprometimento entre os integrantes, formas de trabalho, multidisciplinaridade, postura diante de conflitos etc. Enfim,

a escolha da técnica ou modelo de decisão a ser utilizado que se firma como mais adequado consiste naquele em que há maior aceitabilidade entre os agentes de decisão.

Cada planejamento de projetos tem propriedades distintas. De tal modo, não se pretende analisar com detalhe todas as características descritas ou designar uma técnica ou modelo matemático próprio, mas compreender como a decisão em grupo pode se manifestar. Com suporte na organização de informações fornecidas sobre esse tema, é possível determinar qual o método mais apropriado para cada entidade que realiza planejamento de projetos de saneamento.

5.1.3 Definição das alternativas

Os projetos em saneamento se manifestam como um sistema complexo de infraestrutura que abrange: barragens, adutoras, redes coletoras, estações de tratamento de esgoto, entre outros. Obras dessa natureza, em geral, têm vida útil superior a 50 anos, tornando-se necessária na concepção dos projetos a previsão de impactos por várias décadas.

Com efeito, os projetos sanitários são estruturas sofisticadas cujas ações resultam em horizonte de planejamento de curto, médio e longo prazo. Portanto, é importante verificar a interdependência das alternativas e estudar suas consequências com a finalidade de evitar ambiguidade entre os projetos a serem priorizados. Lembra-se novamente que a vantagem da metodologia multicritério é evoluir nas alternativas para que suas consequências se tornem as mais favoráveis possíveis.

A qualidade do processo de decisão está diretamente vinculada à definição clara dos projetos que devem ser priorizados. Recomenda-se escolher projetos em que se permita a busca de informações. Além disso, é aconselhável observar se o desempenho de uma alternativa depende de outra, no caso em que as alternativas não são mutuamente exclusivas.

Deve-se analisar também a quantidade de alternativas, o que vai depender da dimensão do problema. No caso de priorização em companhias estaduais de saneamento, por exemplo, as demandas por projetos podem vir de vários municípios, fazendo com que se aumente o número de comparações por relações binárias, crescendo a complexidade do problema.

Em situações em que há grande quantidade de projetos a serem priorizados, é importante verificar se é necessária uma etapa de pré-seleção ou triagem dos projetos. Isto simplificará o processo de decisão e garantir que apenas as alternativas potenciais sejam hierarquizadas. Outra forma de resolver problemas complexos em que há grande quantidade de projetos é dividi-lo em duas problemáticas: classificação e hierarquia. No primeiro momento aplica-se a problemática de classificação para dividir os projetos em grupos, e, em seguida, utilizam-se a problemática de hierarquia para dar ordenações aos grupos pré-determinados.

Listam-se como exemplos de projetos de abastecimento de água e esgotamento sanitário: implantação, ampliação ou melhoria dos sistemas de água; implantação, ampliação ou melhoria dos sistemas de esgoto; estações elevatórias, interceptores, construção de ETE; construção de ETA; tecnologias de reúso para águas residuárias; tratamento físico e químico da água; tratamento físico e químico de esgoto; coletor-tronco; adutoras; lagoas de estabilização etc.

5.1.4 Definição dos critérios

A definição dos atributos é fundamental para a qualidade da decisão tomada, pois servem como eixo de avaliação. Os atributos proveem um conjunto de regras, conforme a visão do tomador de decisão, para avaliar as preferências entre um par de alternativas. É importante analisar quais as relações entre os critérios e alternativas, pois alguns critérios podem ser subcritérios ou mesmo não serem significantes para o processo. Para isso, a participação do analista é fundamental para auxiliar na estruturação do processo de decisão e observar que as preferências dos decisores podem mudar com o tempo.

Uma recomendação para a escolha dos critérios de decisão em saneamento é consultar o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento, que publica anualmente uma relação de indicadores para o setor. Nesse material, constam nomes, definições, unidades de medidas, fórmulas de cálculos, enfim, informações necessárias para medir possíveis critérios.

Outra fonte importante são os indicadores de desenvolvimento sustentável do IBGE. Os indicadores estão divididos nas dimensões: ambiental, social, econômica e institucional. Os indicadores de saneamento são encontrados na dimensão ambiental, no entanto, muitos indicadores da dimensão social e econômica podem ser aplicados para priorização de projetos de saneamento.

No quadro 5.4, pode-se encontrar uma sugestão de critérios ou subcritérios para priorização de projetos de abastecimento de água e esgotamento sanitário que resultam da pesquisa bibliográfica. Sua fundamentação ou aplicação está localizada no segundo e terceiro capítulos desta tese.

Quadro 5.4 - Lista de critérios para avaliação de projetos em saneamento

Ambiental	Social	Técnico	Econômico
contaminação do solo	índice de cobertura	concentração de DBO	custo operacional
alteração na fauna	IDH	qualidade da água	custo de manutenção
alteração na flora	PIB	alteração no balanço hídrico	custo total
desmatamento	nível de salubridade	prazo de execução da obra	custo da mão-de-obra
poluição do ar	riscos à saúde pública	energia necessária	VPL
riscos de erosão	visibilidade	declividade do terreno	TIR
	produção de odores ou ruídos	rebaixamento do lençol freático	produção agrícola
	paisagem e recreação	manutenção	taxa de emprego
	benefícios para agricultura		

Fonte: elaboração própria

Observa-se a heterogeneidade dos indicadores que abrangem tanto naturezas qualitativas como quantitativas. Esse quadro é importante, pois fornece uma visão mais ampla sobre a dimensão que empreendimento pode abranger. Verifica-se também que alguns critérios são de mensuração difícil. Nesse caso, pode-se recorrer a escalas verbais ou pontuações como formas de avaliar o desempenho das alternativas.

Ressalta-se que a divisão dos critérios nas categorias ambiental, social e econômica não é rigorosa, ou mesmo essencial. Pode haver variação nos critérios, dependendo do ponto de vista do avaliador. Por exemplo, um critério determinado como técnico pode também ser ambiental, como é o caso do critério qualidade de água, por vezes visto nas aplicações encontradas. Assim, em razão das interfaces do saneamento com outras áreas, é difícil definir fronteiras para os critérios considerados.

É essencial observar a quantidade de critérios como medida de simplificação do problema. Gomes (2007) diz que alguns métodos operam comparando alternativas, portanto, não recomendam o uso superior a sete atributos. Recomenda-se que não é aconselhável utilizar, simultaneamente, mais de 20 atributos em um mesmo nível de igualdade, pois dificulta a percepção das características mais significativas do problema.

As recomendações realizadas, assim como as sugestões de critérios, vistos no quadro 5.4, servem de apoio para as entidades na escolha dos critérios de decisão, no entanto a seleção de critérios vai depender do problema e do ponto de vista dos agentes de decisão.

5.1.5 Escolha do método multicritério

A seleção apropriada do método multicritério depende das características do problema em questão e das preferências do decisor. Atualmente, existem vários métodos multicritério disponíveis, portanto a eficiência na modelagem do problema vai depender do conhecimento do analista no algoritmo e nas propriedades dos métodos.

A escolha do método se faz por suas características, como: a natureza do problema (tipo de problemática), tipos de critérios, maneira pela qual vai ser conduzida a modelagem de preferência (comunicação esperada do tomador de decisão). Deve-se evitar que a escolha do método multicritério seja influenciada pela mera popularidade ou facilidade de aplicação de um *software*, já que a essência da metodologia multicritério é uma modelagem de preferência eficiente.

Uma vez identificadas na literatura as propriedades do planejamento de projetos de saneamento, é possível atribuir quais métodos multicritério fazem parte do modelo proposto. Foram consideradas as seguintes características na escolha dos métodos:

- soluciona a problemática de hierarquia;
- permita trabalhar com informações imprecisas, em decorrência da possível dificuldade na atribuição de ponderações para os critérios;
- tenha aplicabilidade comprovada na avaliação de projetos na área de saneamento;
- seja da classe de métodos de superação; e
- a obtenção dos parâmetros seja de fácil assimilação pelos tomadores de decisão.

O termo de superação ou sobreclassificação está relacionado com as relações de preferência. Assim, o modelo captura as situações indiferença, preferência fraca e estrita. Em razão de tais características predefinidas, foram considerados dois métodos de sobreclassificação para o modelo: PROMETHEE II com a extensão gráfica GAIA e o ELECTRE IV.

PROMETHEE II & GAIA

O método PROMETHEE II foi selecionado entre a classe de métodos de superação por não admitir a relação de incomparabilidade entre as alternativas, ou seja, o resultado final é uma pré-ordem completa. Assim, a hierarquia obtida vai depender do comparativo entre todas as opções de projetos de saneamento do problema.

Outra característica importante do PROMETHEE para a priorização de projetos é a associação a uma função (Figura 3.5) utilizada para fazer a análise intracritério. Isso ajuda a tornar claro ao agente de decisão sobre os parâmetros a serem coletados (limites de indiferença e preferência). Além disso, GAIA foi adicionado ao modelo com o intuito de contribuir na análise, de forma que seja possível visualizar graficamente o desempenho das alternativas em relação aos critérios. Por fim, vale dizer que o método PROMETHEE II & GAIA é recomendado para situações em que seja possível atribuir pesos aos atributos para o problema de saneamento.

Uma vez entendidas as vantagens sobre o método escolhido, pode-se descrever o seu procedimento de aplicação. Para isso, a figura 5.3 mostra um fluxo com a sequência do procedimento a ser adotado.

Figura 5.3 – Fluxo do PROMETHEE II & GAIA
Fonte: elaboração própria

Observa-se pelo fluxo que, após a obtenção da matriz de avaliação, pode-se realizar o procedimento de modelagem de preferência. Nesse momento, obtêm-se os parâmetros necessários para o PROMETHEE II: pesos e funções de preferência para os seis tipos de critérios generalizados.

Os resultados obtidos pela aplicação do PROMETHEE II & GAIA podem ser gerados pelo sistema de suporte à decisão. No caso, optou-se pela utilização do D-SIGHT, cuja descrição se encontra a seguir. Finalmente, realiza-se a análise de sensibilidade com o intuito de verificar a consistência dos resultados.

D-SIGHT

O programa D-SIGHT foi desenvolvido para trabalhar como PROMETHEE II & GAIA. Os recursos que a ferramenta disponibiliza são bem aproveitáveis para uma análise detalhada de priorização de projetos. A descrição sobre os principais recursos e suas vantagens vem em sequência.

- a) Formato visual, a hierarquia obtida pelo PROMETHEE II é vista conforme os valores dos fluxos de superação (ver figuras 5.12, 5.13 ou 5.14).
- b) O plano GAIA é simples e pode ser visualizado pela figura 5.4.

Figura 5.4 – GAIA no D-SIGHT
Fonte: manual D-SIGHT (2011)

O valor de delta (canto superior direito) diz a estimação de qualidade para a representação do plano. Assim, o valor maior corresponde às melhores representações. O bastão de decisão corresponde à reta vermelha no gráfico e representa a melhor direção para a solução de compromisso. O sistema permite visualizar a projeção desta reta conforme a hierarquia do PROMETHEE II.

- c) A ferramenta considera critérios qualitativos – é possível inserir dados com escalas verbais e os seus valores são traduzidos na ferramenta, conforme representado na figura 5.5.

Figura 5.5 – Escalas qualitativas no D-SIGHT
Fonte: manual do D-SIGHT (2011)

- d) Pela definição de grupos de critérios, pode-se dividi-los em categorias distintas (técnica, ambiental, social e econômica).
- e) Disponibilidade de filtros que permite desabilitar temporariamente uma ou mais alternativas para analisar novos resultados.
- f) Análise de sensibilidade, com vários recursos, como a tabela de estabilidade dos pesos associados aos critérios (figura 5.6). O indicador nível de estabilidade (*stability level*) consiste no nível de estabilidade (n) e pode ser alterado. O valor de n corresponde ao número de alternativas em que pode haver mudança na hierarquia, valendo ressaltar que quanto maior for n , menor é o intervalo de estabilidade.

Criteria	Min Weight	Value	Max Weight	
cost	10,2%	16,0%	100,0%	Green
delay	9,7%	15,0%	100,0%	Green
impact	8,1%	15,0%	17,3%	Orange
revenues	21,1%	24,0%	32,3%	Orange
constraints	6,4%	15,0%	100,0%	Green
proximity	0,0%	15,0%	17,9%	Orange

Figura 5.6 – Intervalos de estabilidade dos critérios
Fonte: manual do D-SIGHT (2011)

Os intervalos de estabilidade indicam os limites pelos quais pode haver alteração na ponderação dos critérios sem que haja mudança na hierarquia. A segunda e quarta colunas representam, respectivamente, os valores mínimo e máximo de estabilidade dos pesos. A última coluna ou notações em cores sobre o intervalo de estabilidade. Assim, a cor verde indica um grande intervalo e a vermelha o oposto.

ELECTRE IV

A dificuldade em dar prioridades aos critérios ou estabelecer as devidas ponderações pode ser um dos principais obstáculos para a aplicação de muitos métodos multicritérios. A opção pela não atribuição de pesos, no caso de projetos públicos, fica bastante explícita, pois o decisor tem que garantir que vários objetivos sejam atingidos.

Nesse contexto, propõe-se o método ELECTRE IV, indicado para situações em que não se consiga estabelecer pesos para os atributos. A escolha por esse método é decorrente das seguintes razões: problemática de hierarquia, não utiliza pesos nos atributos, estrutura de preferência com pseudocritérios. Nesse caso, o método obedece a uma pseudo-ordem, ou seja, apresenta claramente um limiar de preferência e um de indiferença. Os procedimentos de aplicação do ELECTRE IV estão exemplificados na figura 5.7.

Figura 5.7 – Fluxo do ELECTRE IV
Fonte: elaboração própria

O fluxo mostra que, após a obtenção da matriz de avaliação, busca-se obter os limites de preferência e indiferença para cada atributo. Essa parte é considerada como a modelagem de preferência em que se obtêm valores relativos ao julgamento do tomador de decisão. Uma vez obtidas todas as informações necessárias, pode-se iniciar a fase de interpretação dos resultados pelas ordenações e matrizes disponíveis. A etapa final é a análise de sensibilidade que vai indicar o quanto as alternativas são sensíveis a mudanças de preferência do decisor. O apoio para aplicação desse procedimento será concedido pela utilização do sistema de apoio à decisão.

ELECTRE III-IV

O sistema de apoio à decisão utilizado tem como função resolver problemas de hierarquia pelo método ELECTRE III ou ELECTRE IV. O ELECTRE III-IV oferece as seguintes opções de análise: matriz de credibilidade, gráficos de ordenação (ascendente, descendente e final).

No ELECTRE III-IV são inseridos os limiares de preferência e indiferença (figura 5.8). Isso ocorre pela definição das médias dos coeficientes α e β . A função linear genérica desses parâmetros é definida como $\alpha * g(a) + \beta$, onde $g(a)$ é a função de preferência para a alternativa a . Esses coeficientes tornam possível introduzir os limiares como desempenho das alternativas em forma de percentual (α) e valores absolutos (β).

Edit Thresholds

Code of Criterion: Cr01
 Weight of Criterion: 1
 Direction of Preferences: Increasing

Min (g_j) = 100
 Max (g_j) = 110
 Min (Δg_j) = 10

Mode of Definition:
☒ Direct
☐ Inverse

Coefficients of Indifference Threshold:
 α = 0.1 β = 5

Coefficients of Preference Threshold:
 α = 0.1 β = 5

Coefficients of Veto Threshold:
 α = β =

☒ Disable Veto

List of Performances:

[A0001]	100
[A0002]	110

OK
 Cancel
 Preview
 Help

Figura 5.8 – Parâmetros no ELECTRE III-IV
 Fonte: Pena et al (2007, p.13)

No momento em que são inseridas as alternativas, o ELECTRE III-IV calcula os seguintes valores (figura 5.9):

- $\min(g_j)$ – corresponde ao valor mínimo da matriz para o critério selecionado;
- $\max(g_j)$ – valor máximo para o critério escolhido;
- $\min(\Delta g_j)$ – menor diferença de valores no critério selecionado.

Code	g_j	$q(g_j)$	$p(g_j)$	$v(g_j)$
[A0001]	100	15.00	15.00	
[A0002]	110	16.00	16.00	

Figura 5.9 – Definição dos limites no ELECTRE III-IV
Fonte: Pena et al (2007, p.13)

Entre os resultados oferecidos pelo sistema têm-se:

- matriz de ordenação que explica a relação de preferência, indiferença ou incomparabilidade entre as alternativas;
- matriz de credibilidade com a função de medir o grau de superação em que a alternativa a é pelo menos tão preferível quanto a alternativa b ;
- matriz de concordância, similar à matriz de credibilidade, mas não utiliza o limiar de veto; e
- grafo final consiste na representação gráfica do resultado de pré-ordem parcial. Nesse caso, diz-se que o algoritmo aceita situações de incomparabilidade.

Observa-se que o ELECTRE III-IV trabalha apenas com valores numéricos, de forma que é preciso fazer uma transformação de escala, caso sejam utilizados critérios verbais na matriz de avaliação. Ao se optar por aplicar o ELECTRE III, é possível aproveitar os dados da matriz de avaliação. Isso é importante, pois se pode, em casos futuros, optar pela atribuição de pesos aos critérios.

5.2 Aplicação numérica do modelo de priorização na bacia PCJ

O modelo de priorização proposto foi aplicado no contexto de hierarquia de projetos nas bacias dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí (PCJ). É formada por 15.304 km², que representam 92,6% pertencente ao Estado de São Paulo e 7,4% a Minas Gerais. Essa área corresponde a um total de 76 municípios, 62 dos quais com sede municipal dentro destas bacias hidrográficas sendo: 58 localizam-se no Estado de São Paulo e quatro em Minas Gerais (ANA, 2007). A abrangência das bacias PCJ pode ser visualizada na figura 5.10.

As bacias PCJ possuem intenso grau de urbanização, cuja consequência é a multiplicação das fontes de poluição dos rios pelos esgotos urbanos. A bacia dispõe de 50% de esgoto doméstico tratado e 90% das cargas industriais removidas. A densidade urbana e economia da região, para um espaço limitado, implicam a preocupação pelos recursos hídricos cuja disponibilidade é indispensável para o desenvolvimento. Esse fato tem como reflexo a discussão sobre diversos temas, como: proteção ambiental; impactos do uso e da ocupação do solo sobre a qualidade da água; oferta da infraestrutura sanitária urbana; controle de poluição; gestão da demanda do uso da água (COBRAPE, 2011).

O processo de tomada de decisão para a proteção dos recursos hídricos dessa região está ligado ao Comitê de Bacia Hidrográfica Estadual (CBH – PCJ). O comitê de bacia não possui personalidade jurídica, mas tem função deliberativa e consultiva. Foi criado para promover a participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades, na gestão dos recursos hídricos. Dessa forma, os comitês agem de maneira descentralizada para questões referentes à gestão dos recursos hídricos, priorização e aplicação de recursos financeiros destinados à bacia.

Nesse ambiente, têm-se a atuação do Consórcio Intermunicipal das Bacias dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí (Consórcio PCJ), uma associação composta por municípios e empresas cujo objetivo é a recuperação dos mananciais da região. No dia 6 de dezembro de 2005, o Consórcio PCJ celebrou com a Agência Nacional de Águas o contrato de gestão para exercício de funções de Agência de Água nas Bacias dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí. Esse consórcio, estabelecido por lei com poder consultivo e deliberativo, é um órgão colegiado, representado pelos poderes municipal, distrital, estadual e federal, além de organizações civis e usuários de água.

Recursos financeiros das bacias PCJ

As cobranças pelo uso da água nas bacias dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí foram implantadas em janeiro de 2006 em rios de domínio da União e em janeiro de 2007 nos corpos hídricos de domínio do Estado de São Paulo. Sua atuação é importante para garantir a recuperação dos rios da região.

Os recursos financeiros da cobrança são aplicados nas bacias PCJ com base nos programas, projetos e obras previstos no Plano de Bacias aprovado pelos Comitês PCJ. Criado pela Lei no 7.663/91, o FEHIDRO propicia suporte à Política Estadual de Recursos Hídricos, financiando programas e projetos previstos no Plano Estadual de Recursos Hídricos e nos planos de bacias.

Figura 5.10 – Mapa das bacias hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá
Fonte: Comitê PCJ (2011)

Os recursos do FEHIDRO derivam da compensação financeira que o Estado recebe pela utilização de recursos hídricos para geração de energia elétrica e, com o início da cobrança pelo uso da água em rios de domínio do Estado de São Paulo, também terá recursos dessa fonte.

Figura 5.11 – Total de investimentos nas bacias PCJ em 2008
Fonte: ANA (2007)

A figura 5.10 mostra os valores percentuais de aplicação dos investimentos obtidos com recursos da cobrança federal para as bacias PCJ para o ano de 2008. A maior fatia dos investimentos, um total de 65%, destina-se a serviços e obras de tratamento de esgoto. Os demais investimentos foram gastos com controle de perdas, projetos e estudos e outros tipos de empreendimentos.

5.2.1 Estruturação do problema

A priorização dos projetos de saneamento das Bacias PCJ tem como base as definições da Deliberação Conjunta dos Comitês PCJ nº 077/07 (Anexo A). Essa deliberação tem como função definir as regras de hierarquização dos empreendimentos submetidos para o financiamento com recursos oriundos das cobranças pelo uso dos recursos hídricos em rios de domínio da União e dos Estados de São Paulo e Minas Gerais, localizados nas bacias PCJ.

O processo de decisão das bacias PCJ é importante para aplicação do modelo multicritério para priorização de projetos pelos seguintes motivos:

- há limitação de recursos financeiros e os projetos precisam ser distribuídos de forma hierárquica;
- necessidade de transparência na decisão, em virtude da participação de vários órgãos e instituições, todos com interesses distintos, entre eles, têm-se prefeituras, prestadores de serviço de água e esgoto, associações;
- os critérios de decisão foram estabelecidos em grupo e por meio de consenso entre os tomadores da decisão; e
- os critérios são conflitantes e abrangem naturezas diferentes - operacionais, institucionais e financeiros.

Pelas características, nota-se que o caso em estudo se enquadrou nas argumentações anteriormente descritas em que os projetos de saneamento são semelhantes às aplicações pesquisadas e a decisão em grupo ocorreu por parte de representantes de diferentes instituições.

O resumo sobre todas as propriedades da aplicação do modelo multicritério está apresentado no quadro 5.5.

Quadro 5.5 - Síntese da aplicação numérica

Aplicação numérica do modelo	
Caso	Hierarquia de projetos nas Bacias PCJ
Tipos de projetos	Projetos de recuperação da qualidade dos corpos d'água (Grupo 1)
Tipo de decisão em grupo	Consenso para formulação dos critérios e análise de preferência individuais para os resultados da hierarquia Avaliação das preferências individuais
Tomadores de decisão	Integrantes da Câmara Técnica de Planejamento da Bacia do PCJ
Documentos	Deliberação Conjunta dos Comitês PCJ nº 077/07

Fonte: elaboração própria

5.2.2 Definição de alternativas

O conjunto de alternativas corresponde aos projetos submetidos a aprovação de investimento junto ao Comitê PCJ no ano de referência de 2008. Os projetos são divididos em três grupos, sendo o Grupo 1 destinado a área de saneamento (ver quadro 5.6). Foram 14 projetos submetidos ao processo de hierarquia, cujo objetivo consiste na recuperação da qualidade dos corpos d'água das bacias PCJ.

Quadro 5.6 – Empreendimentos inscritos para hierarquização em 2008

Município	Empreendimento
Americana	Execução da estação elevatória de esgoto e linhas de recalque - Jardim da Mata
Atibaia	Implantação de equipamentos e obras complementares na ETE Estoril
Campinas	Estação de tratamento de esgoto de Bosque das Palmeiras
	Obras de ampliação e equipamentos para otimização da estação de tratamento de lodo das estações de tratamento de Água 3 e 4
Cordeirópolis	Projeto executivo do sistema de tratamento, desidratação e disposição final do lodo da ETA do município de Cordeirópolis
Indaiatuba	Interceptor (coletor tronco) da margem direita do rio Jundiá
Ipeúna	Construção da ETE tipo sistema australiano de Ipeúna
Jaguariúna	Sistema de afastamento (coletor tronco) e transporte de esgoto sanitário - Bacia do Jaguari - Fase 03
Jundiá	Construção de estação de tratamento de esgoto do bairro Fernandes - Bacia do Rio Capivari no município de Jundiá
	Construção de Estação de Tratamento de Esgotos Bairro São José - Bacia do Rio Capivari no município de Jundiá
Rio das Pedras	Projeto básico de reaproveitamento de água do processo do sistema de tratamento, desidratação e disposição final dos lodos das ETAs I, II e III do município de Rio das Pedras
Santa Bárbara D'Oeste	Tratamento físico químico da ETE Barroão
	Tratamento físico químico da ETE Balsa
Valinhos	Implantação do sistema de controle de odor do tratamento preliminar da ETE de Capuava

Fonte: dados informados pelo Comitê (PCJ)

O quadro 5.6 mostra que 11 municípios participaram da seleção de projetos. Percebe-se, pela descrição dos empreendimentos, a diferença entre eles, pois constam obras de ampliação e implantação, projetos básicos e executivos, tratamentos físico-químicos.

5.2.3 Definição dos critérios

Os critérios foram obtidos pelo consenso entre os integrantes da Câmara Técnica de Planejamento (CT-PL) do Comitê PCJ e a consolidação desses resultou de reuniões que envolveram a participação dos membros CT-PL. Os participantes são representados as seguintes entidades: Associação Brasileira de Concessionárias - ABCON; Associação dos Engenheiros, Arquitetos e Agrônomos da Região de Bragança - AEEARB-VIVERE; Agência de Água PCJ.

A deliberação conjunta dos Comitês PCJ nº 077/ 07 estabelece os critérios gerais e específicos para hierarquização de empreendimentos (Anexo A). A tabela 5.1 apresenta os cinco critérios. Estes são de natureza qualitativa, enquanto as regras de pontuação seguem na tabela 5.2.

Tabela 5.1- Critérios de decisão de investimentos

Abreviatura	Critério	Objetivo	Unidade	Mín	Máx
C1	Objetivo do empreendimento	Maximizar	Pontos	2	5
C2	Contrapartida oferecida	Maximizar	Percentual	20%	40%
C3	Tipo de empreendimento	Maximizar	Pontos	1	5
C4	Programa de Gestão Municipal	Maximizar	Pontos	0	5
C5	Participação no PRODES	Maximizar	Pontos	0	1

Fonte: Deliberação Conjunta dos Comitês PCJ nº 077/07

Observa-se pela tabela 5.2 que os critérios de decisão para a hierarquia são bem particulares ao problema. Assim, os critérios apresentam: caráter operacional, como é o caso do objetivo do empreendimento; administrativos e institucionais, como tipo de empreendimento, programa de gestão municipal e inclusão no PRODES; financeiro, como o percentual de contrapartida.

Tabela 5.2 – Pontuação para os critérios

Crítérios	Pontuação
Objetivo do empreendimento	5 pontos – ETEs; tratamento de chorume; tratamento de efluente de ETA (lodo); 4 pontos – coletores-tronco, emissários, elevatórias de esgoto, interceptores (transporte e afastamento) que se interliguem a uma ETE em operação; 3 pontos – coletores-tronco, emissários, elevatórias de esgoto, interceptores (transporte e afastamento) que se interliguem a uma ETE em construção; 2 pontos – coletores-tronco, emissários, elevatórias de esgoto, interceptores (transporte e afastamento) que não estejam interligados a uma ETE.
Contrapartida oferecida	CP _{of} = contrapartida oferecida; CP _{min} = contrapartida mínima = 20%; CP _{máx} = contrapartida máxima = 40%.
Tipo de empreendimento	5,0 pontos – obra cujo projeto foi financiado pelo FEHIDRO ou “cobranças federal e paulista”; 4,5 pontos – obra cujo projeto não foi financiado pelo FEHIDRO ou “cobranças federal e paulista”; 4,0 pontos – serviço ou equipamento cujo projeto foi financiado pelo FEHIDRO ou “cobranças federal e paulista”; 3,5 pontos – serviço ou equipamento cujo projeto não foi financiado pelo FEHIDRO ou “cobranças federal e paulista”; 3,0 pontos – projeto, plano ou estudo cujo termo de referência foi financiado pelo FEHIDRO ou “cobranças federal e paulista”; 2,0 pontos – projeto, plano ou estudo cujo termo de referência não foi financiado pelo FEHIDRO ou “cobranças federal e paulista”; 1,0 ponto – Termo de Referência.
Programa de Gestão Municipal dos Recursos Hídricos	5 pontos – município possui Lei Municipal sobre Política Municipal de Recursos Hídricos e o Conselho Municipal de Defesa do Meio Ambiente ou de Recursos Hídricos implantado e em operação; 3 pontos – município possui Lei Municipal sobre Política Municipal de Recursos Hídricos; 2 pontos – município possui Projeto de Lei (PL) Municipal sobre Política Municipal de Recursos Hídricos já protocolado na Câmara Municipal; 0 ponto – município não protocolou PL sobre Política Municipal de Recursos Hídricos na Câmara Municipal.
Inclusão no PRODES	1 ponto – para obras que tenham sido hierarquizadas pelo PRODES/ANA/2007; 0 ponto – para as demais obras;

Fonte: Deliberação Conjunta dos Comitês PCJ nº 077/07

5.2.4 Matriz de avaliação

Na matriz de avaliação (tabela 5.3), têm-se o desempenho de cada alternativa para os critérios de decisão estabelecidos pelo CT-PL das bacias PCJ (tabela 5.3).

Tabela 5.3 – Matriz de avaliação das bacias PCJ

Alternativa	Objetivo do Empreendimento	Contrapartida	Tipo de Empreendimento	Gestão Municipal	PRODES
A1	5	40,00%	4,5	5	0
A2	5	40,00%	4,5	3	1
A3	4	40,00%	4,5	5	0
A4	5	40,00%	4,5	3	0
A5	5	40,00%	4,5	3	0
A6	5	40,00%	4,5	3	0
A7	5	40,00%	5	2	0
A8	5	40,00%	5	2	0
A9	5	40,00%	4,5	0	0
A10	4	35,00%	4,5	3	0
A11	4	40,00%	4,5	0	0
A12	5	33,00%	2	0	0
A13	5	33,00%	2	0	0
A14	5	30,00%	4,5	0	0

Fonte: dados informados pelo Comitê (PCJ)

Observa-se pela matriz que os critérios são conflitantes e há diferença de escala entre eles. Ressalta-se que nos métodos proposto de sobreclassificação propostos não há necessidade de mudança de escala para analisar a relação binária entre elas. As opções de projeto: A7 e A8; A4, A5 e A6; A12 e A13 tiveram o mesmo desempenho para todos os critérios, portanto devem ocupar posições de empate nos cenários adotados.

5.2.5 Modelagem de preferência

A modelagem de preferência foi feita por meio de entrevistas com três agentes de decisão (membros do CT-PL). Assim, foi possível estabelecer três cenários de hierarquia. Os decisores são representantes das seguintes entidades: representante da sociedade civil, integrante do Comitê da Agência PCJ e representante da área de saneamento. Dessa forma, pretende-se analisar os julgamentos individuais em relação à ponderação dos critérios e resultados de hierarquia.

Vale ressaltar que a modelagem de preferência não é uma tarefa simples, pois o decisor pode sentir dificuldade em entender os conceitos sobre os parâmetros da metodologia multicritério. Para isso é importante a atuação do analista, a fim de que o agente de decisão compreenda com clareza quais são os questionamentos feitos para o processo.

O resumo da modelagem de preferência realizada para os três cenários estabelecidos, conforme as regras do PROMETHEE II, podem ser vistos pela tabela 5.4.

Tabela 5.4 – Modelagem de preferência conforme PROMETHEE

Cenário I					
Critério	Min/max	Função	Indiferença	Preferência	Peso
Objetivo do empreendimento	Maximizar	Usual	0	1	27,03%
% Contrapartida	Maximizar	V-Shape	0	5	13,51%
Tipo de empreendimento	Maximizar	V-Shape	0	1	24,32%
Gestão Municipal	Maximizar	V-Shape	0	2	18,92%
PRODES	Maximizar	Usual	0	1	16,22%
Cenário II					
Critério	Min/Max	Função	Indiferença	Preferência	Peso
Objetivo do empreendimento	Maximizar	V-Shape	0	1	31,25%
Contrapartida	Maximizar	V-Shape	0	3	25,00%
Tipo de empreendimento	Maximizar	Usual	0,5	1	18,75%
Gestão Municipal	Maximizar	V-Shape	0	1	18,75%
PRODES	Maximizar	Usual	0	1	6,25%
Cenário III					
Criterion	Min/Max	Função	Indiferença	Preferência	Peso
Objetivo do empreendimento	Maximizar	Gaussian	0	3	34,48%
Contrapartida	Maximizar	Level	10	20	13,79%
Tipo de empreendimento	Maximizar	V-Shape	0	0,5	13,79%
Gestão Municipal	Maximizar	Linear	1	2	20,69%
PRODES	Maximizar	Usual	0	1	17,24%

Fonte: elaboração própria (aplicação do D-SIGHT)

Nos três cenários, obteve-se maior peso para o critério objetivo do empreendimento e houve pouca variação para no valor de ponderação, sendo o maior valor de peso 34,48% e o menor 27,03%. Nos demais critérios, o grau de importância é bastante divergente para cada decisor.

Observa-se uma variação de preferência para o tipo de função generalizada - os limites de preferência e indiferença. Conclui-se que, mesmo que os critérios tenham sido estabelecidos pelo consenso, observam-se mudanças significativas nas preferências individuais.

A modelagem de preferências, de acordo com o ELECTRE IV, foi realizada para um tomador de decisão. Nessa aplicação, não se pretende estabelecer três cenários, mas analisar os resultados do método para situações em que o decisor não consegue atribuir pesos para os

atributos. Os resultados dos limites de preferência e indiferença definidos pelo decisor estão resumidos na tabela 5.5.

Tabela 5.5 – Limites de preferência e indiferença nas bacias PCJ.

Critérios	Limites					Objetivo
	-p	-q	0	+q	+p	
Objetivo do Empreendimento	-1	-0.5	0	0.5	1	Maximizar
% Contrapartida	-5	-3	0	3	5	Maximizar
Tipo de empreendimento	-1	-0.5	0	0.5	1	Maximizar
Programa de Gestão Municipal	-2	-1	0	1	2	Maximizar
Participação no PRODES	-1	0	0	0	1	Maximizar

Fonte: elaboração própria

5.3 Resultados da aplicação do modelo

Os resultados da aplicação do método PROMETHEE II & GAIA são apresentados a por meio de gráficos, quadros e tabelas extraídos do sistema D-SIGHT.

5.3.1 Hierarquia de projetos com PROMETHEE II

Os dados segundo a modelagem de preferência foram inseridos no D-SIGHT para calcular a hierarquia para o PROMETHEE II. Os resultados de hierarquia dos empreendimentos das bacias PCJ são vistos nas figuras 5.12, 5.13 e 5.14.

Figura 5.12 – Cenário I – hierarquia conforme PROMETHEE II

Fonte: elaboração própria (aplicação do D-SIGHT)

A figura 5.12 mostra os desempenhos de cada projeto, conforme o valor dos fluxos calculados pelo método PROMETHEE II. No Cenário I, os projetos A12 e A13 são aqueles que indicam os piores desempenhos. Esse resultado foi semelhante ao segundo decisor, como se pode ver na figura 5.12. Verifica-se que para os dois cenários, A3 e A9 apresentaram valores muito próximos. No geral, houve pouca mudança em relação ao valor nos cenários I e II.

Figura 5.13 – Cenário II – hierarquia conforme PROMETHEE II
 Fonte: elaboração própria (aplicação do D-SIGHT)

Os resultados do terceiro cenário são diferentes dos demais (há mudança clara nas preferências do terceiro decisor). Mesmo assim, os projetos A12 e A13 foram aqueles que também tiveram posições mais baixas na hierarquia.

Figura 5.14 – Cenário III – hierarquia conforme PROMETHEE II

Fonte: elaboração própria (aplicação do D-SIGHT)

A hierarquia de projetos para as bacias PCJ para os três cenários conforme PROMETHEE II, se encontra no quadro 5.7. Os demais valores (fluxos neto) pelo D-SIGHT encontram-se no anexo A desta tese.

O quadro 5.7 mostra que as opções A2 e A1 foram aquelas que apresentaram os melhores desempenhos conforme os três cenários enquanto os piores desempenhos foram para A12 e A13. Constata-se similaridade nos resultados das alternativas nas melhores e piores posições da hierarquia.

Quadro 5.7 – Hierarquia das alternativas para os três cenários

Hierarquia	Cenário I	Cenário II	Cenário III
1	A2	A1	A2
2	A1	A7, A8	A1
3	A7 A8	A2	A7 A8
4	A4 A5 A6	A4 A5 A6	A3
5	A3	A9	A4 A5 A6
6	A9	A3	A10
7	A14	A14	A14
8	A10	A11	A9
9	A11	A10	A11
10	A12 A13	A12 A13	A12 A13

Fonte: elaboração própria

O quadro 5.8 orienta sobre a diferença de hierarquia estabelecida para cada cenário. Há uma similaridade entre os cenários I e III nas posições iniciais (1º a 3º colocação) e finais (9º e 10º colocação) da hierarquia. Comparando os três cenários, algumas posições para determinados projetos coincidiram, como é o caso de A14, que ficou na 7ª colocação, e A12 e A13 na 10ª posição.

O plano GAIA oferece uma visualização mais detalhada entre os três cenários para fazer um comparativo entre a influência do peso dos atributos sobre os resultados de despenho das alternativas. As figuras 5.15, 5.16 e 5.17 mostram os resultados do plano GAIA para os três cenários.

Figura 5.15 – GAIA para o Cenário I
Fonte: elaboração própria (aplicação do D-SIGHT)

Os resultados do plano GAIA para o Cenário I pode ser visto sob as seguintes perspectivas.

- Distância entre as alternativas – as alternativas mais dispersas entre si são A3, A9, A10, A11, A14. Isso indica maior diferença entre as propriedades das alternativas.
- Posição dos critérios – os critérios contrapartida do empreendimento (C2), tipo de empreendimento (C3) e participação no PRODES (C5) foram aqueles que tiveram a mesma direção da reta vermelha, o que significa similaridade com a preferência do primeiro decisor. Observa-se que os critérios objetivo do empreendimento (C1) e programa de gestão municipal (C4) apresentaram outro direcionamento.
- Distância das alternativas em relação aos critérios - as opções A2, A4, A5, A6, A7, A8 e A1 foram aquelas que seguiram a mesma direção para a maior quantidade de critérios (C2, C3 e C5). Assim, para esses critérios, essas alternativas apresentam bom desempenho.

Figura 5.16 – GAIA para o Cenário II
Fonte: elaboração própria (aplicação do D-SIGHT)

A figura 5.16 mostra que, segundo as preferências do segundo agente de decisão, as alternativas se encontram mais dispersas no plano, portanto, maior é a diferença entre elas. Enquanto isso, o terceiro cenário apresentou menor dispersão em muitas alternativas (figura 5.17).

Na figura 5.17, os critérios objetivo do empreendimento e contrapartida ocuparam o mesmo posicionamento no plano, provando a sua similaridade de preferência entre eles. Pode-se observar que apenas o tipo de empreendimento (C3) ficou distante da direção da reta vermelha.

Figura 5.17 – GAIA conforme o Cenário III
Fonte: elaboração própria (aplicação do D-SIGHT)

Caso seja necessário fazer uma comparação mais detalhada sobre o desempenho de cada alternativa em relação aos critérios, o *software* oferece o gráfico (figura 5.18) teia de aranha, que permite fazer uma comparação de mais de uma alternativa para os cinco critérios.

Figura 5.18 – Gráfico de comparação entre duas alternativas
Fonte: elaboração própria (aplicação do D-SIGHT)

A figura 5.18 indica o desempenho de duas alternativas (A3 e A9) diante dos cinco critérios de decisão. Verifica-se que houve maior amplitude em A3 para os critérios gestão municipal, tipo de empreendimento e contrapartida. A alternativa A9 apresentou melhor desempenho para o critério objetivo do empreendimento.

Análise de sensibilidade

A análise de sensibilidade, conforme visto, representa o estudo da estabilidade de critérios e alternativas pela variação nos valores dos parâmetros. A tabela 5.6 mostra os valores mínimos e máximos (colunas 2 e 4) pelos quais pode haver alterações nos pesos sem que haja mudança na hierarquia das opções de projetos.

Observa-se que os critérios objetivo do empreendimento e contrapartida foram aqueles que apresentam maior estabilidade para os três cenários. Os maiores intervalos encontram-se na última coluna com a cor verde, e os menores intervalos estão com a cor laranja. O menor intervalo para os três cenários atribui-se ao critério participação no PRODES para o segundo cenário, significando que se houver aumento no grau de importância do peso superior a 9,10% vai haver mudança na hierarquia.

Tabela 5.6 – Nível de estabilidade dos pesos por cenário

Criteria	Min Weight	Weight	Max Weight	
Cenário I				
Objetivo do empreendimento	0,00%	27,03%	100,00%	
% Contrapartida	0,00%	13,51%	100,00%	
Tipo de empreendimento	0,00%	24,32%	39,24%	
Gestão Municipal	0,00%	18,92%	25,93%	
PRODES	11,43%	16,22%	100,00%	
Cenário II				
Objetivo do empreendimento	0,00%	31,20%	100,00%	
% Contrapartida	0,00%	25,00%	100,00%	
Tipo de empreendimento	0,00%	18,80%	21,20%	
Gestão Municipal	16,50%	18,80%	100,00%	
PRODES	0,00%	6,20%	9,10%	
Cenário III				
Objetivo do empreendimento	0,00%	34,50%	100,00%	
% Contrapartida	0,00%	13,80%	100,00%	
Tipo de empreendimento	0,00%	13,80%	18,90%	
Gestão Municipal	0,00%	20,70%	25,30%	
PRODES	13,80%	17,20%	100,00%	

Fonte: elaboração própria (aplicação do D-SIGHT)

Pode-se utilizar resultado do quadro 5.8 para verificar a sensibilidade das alternativas de projeto. A alternativa A2 ficou em primeiro lugar na hierarquia para os Cenários I e III, no entanto, no segundo cenário A2 ficou em 4ª posição. A alternativa A1 é menos sensível a mudanças nas preferências do agente de decisão, pois há pouca variação no seu fluxo para os três cenários (ver Apêndice A). Consideram-se A3 e A14 como alternativas mais sensíveis, enquanto A1, A4, A5 e A6 com maior estabilidade caso haja mudança de preferência do decisor.

As demais tabelas que complementam os resultados de ordenação obtidos pela aplicação do D-SIGHT encontram-se no apêndice. Estas tabelas compreendem os valores de fluxo de superação para as alternativas, conforme os três cenários, e as matrizes com os valores de comparação par a par entre as alternativas.

5.3.2 Hierarquia de projetos com ELECTRE IV

Uma vez adicionados ao *software* ELECTRE III-IV, os dados da matriz de avaliação (tabela 5.3) e os parâmetros definidos pelo decisor (tabela 5.5), pode-se definir quais são as relações de dominância (figura 5.19).

Figura 5.19 - Situações de dominância para a matriz de credibilidade
Fonte: elaboração própria (aplicação do ELECTRE III-IV)

Na utilização do *software* ELECTRE III-IV, obtêm-se diversas matrizes, mostradas pelas tabelas 5.7 e 5.8. A matriz de hierarquia tem a finalidade de visualizar os resultados das relações binárias para os tipos de preferências.

Tabela 5.7 – Matriz de hierarquia

	A0001	A0002	A0003	A0004	A0005	A0006	A0007	A0008	A0009	A0010	A0011	A0012	A0013	A0014
A0001	I	P ⁻	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P
A0002	P	I	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P
A0003	P ⁻	P ⁻	I	R	R	R	R	R	R	P	P	P	P	P
A0004	P ⁻	P ⁻	R	I	I	I	P ⁻	P ⁻	P	P	P	P	P	P
A0005	P ⁻	P ⁻	R	I	I	I	P ⁻	P ⁻	P	P	P	P	P	P
A0006	P ⁻	P ⁻	R	I	I	I	P ⁻	P ⁻	P	P	P	P	P	P
A0007	P ⁻	P ⁻	R	P	P	P	I	I	P	P	P	P	P	P
A0008	P ⁻	P ⁻	R	P	P	P	I	I	P	P	P	P	P	P
A0009	P ⁻	P ⁻	R	P ⁻	P ⁻	P ⁻	P ⁻	P ⁻	I	P	P	P	P	P
A0010	P ⁻	P ⁻	P ⁻	P ⁻	P ⁻	P ⁻	P ⁻	P ⁻	P ⁻	I	P	P	P	P
A0011	P ⁻	P ⁻	P ⁻	P ⁻	P ⁻	P ⁻	P ⁻	P ⁻	P ⁻	P ⁻	I	R	R	R
A0012	P ⁻	P ⁻	P ⁻	P ⁻	P ⁻	P ⁻	P ⁻	P ⁻	P ⁻	P ⁻	R	I	I	P ⁻
A0013	P ⁻	P ⁻	P ⁻	P ⁻	P ⁻	P ⁻	P ⁻	P ⁻	P ⁻	P ⁻	R	I	I	P ⁻
A0014	P ⁻	P ⁻	P ⁻	P ⁻	P ⁻	P ⁻	P ⁻	P ⁻	P ⁻	P ⁻	R	P	P	I

Fonte: elaboração própria (aplicação do ELECTRE III-IV)

Na matriz têm-se a seguinte nomenclatura correspondente: P - preferência estrita; P⁻ - preferência fraca; R – incomparabilidade; e I – indiferença. A matriz indica que A2 tem maior número de situações em que ocorre a situação de preferência fraca, no entanto seu desempenho é muito semelhante a A1. A única diferença é que apenas em uma relação binária se identifica a preferência fraca.

Pode-se recorrer à matriz de credibilidade para ter análise com valores quantitativos. Essa matriz mostra os valores e as situações: quasidominância, dominância canônica, pseudodominância.

Tabela 5.8 – Matriz de credibilidade

	A0001	A0002	A0003	A0004	A0005	A0006	A0007	A0008	A0009	A0010	A0011	A0012	A0013	A0014
A0001	1	0.6	1	1	1	1	0.6	0.6	1	1	1	1	1	1
A0002	0.6	1	0.6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
A0003	0.4	0.4	1	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	1	1	0.8	0.8	0.8
A0004	0.4	0.4	0.6	1	0.6	0.6	0.6	0.6	1	1	1	1	1	1
A0005	0.4	0.4	0.6	0.6	1	0.6	0.6	0.6	1	1	1	1	1	1
A0006	0.4	0.4	0.6	0.6	0.6	1	0.6	0.6	1	1	1	1	1	1
A0007	0	0.4	0	0.6	0.6	0.6	1	0.6	1	1	1	1	1	1
A0008	0	0.4	0	0.6	0.6	0.6	0.6	1	1	1	1	1	1	1
A0009	0	0	0	0	0	0	0.4	0.4	1	0	1	1	1	1
A0010	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	1	0.6	0.8	0.8	0.8
A0011	0	0	0	0	0	0	0.4	0.4	0.4	0	1	0.8	0.8	0.6
A0012	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0.6	0
A0013	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.6	1	0
A0014	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.6	0.6	1

Fonte: elaboração própria (aplicação do ELECTRE III-IV)

Os resultados da tabela 5.8 são importantes, pois tornam possível avaliar o desempenho de cada alternativa quando se faz uma comparação par a par. Assim, é possível visualizar que A3, por exemplo, se mostrou com maior número de situações de incomparabilidade. Isto pode indicar que esta é uma opção bastante sensível a mudanças nos parâmetros de decisão.

A alternativa A2 configura-se como ação eficiente, pois consiste naquela que não é superada pelas demais alternativas. Também A2 apresenta melhor desempenho para as relações binárias, significando que se observam os maiores valores na comparação par a par, ou seja, ocorre superação de quasidominância com maior frequência do que as demais alternativas. Pode-se também observar na matriz que A14 é aquela que apresenta o pior desempenho, sendo dominada no maior número de comparações

As duas matrizes demonstradas são complementares, pois, enquanto uma mostra os tipos de preferência, os resultados quantitativos são percebidos apenas com a segunda matriz. Pode-se assim visualizar a relação de superação (forte ou fraca) e o seu grau conforme o valor atribuído.

Quadro 5.8 – Grafos de hierarquia do ELECTRE IV

Pré-ordem final		Ordenação descendente	Ordenação ascendente
Rank	Alternative	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; text-align: center;">A0002</div> <div style="text-align: center;">↓</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; text-align: center;">A0001</div> <div style="text-align: center;">↓</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; text-align: center;">A0004 A0005 A0006 A0007 A0008</div> <div style="text-align: center;">↓</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; text-align: center;">A0009</div> <div style="text-align: center;">↓</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; text-align: center;">A0003</div> <div style="text-align: center;">↓</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; text-align: center;">A0010</div> <div style="text-align: center;">↓</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; text-align: center;">A0011</div> <div style="text-align: center;">↓</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; text-align: center;">A0014</div> <div style="text-align: center;">↓</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; text-align: center;">A0012 A0013</div>	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; text-align: center;">A0001 A0002</div> <div style="text-align: center;">↓</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; text-align: center;">A0003</div> <div style="text-align: center;">↓</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; text-align: center;">A0007 A0008</div> <div style="text-align: center;">↓</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; text-align: center;">A0004 A0005 A0006</div> <div style="text-align: center;">↓</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; text-align: center;">A0009</div> <div style="text-align: center;">↓</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; text-align: center;">A0010</div> <div style="text-align: center;">↓</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; text-align: center;">A0014</div> <div style="text-align: center;">↓</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; text-align: center;">A0012 A0013</div> <div style="text-align: center;">↓</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; text-align: center;">A0011</div>
1	A0002		
2	A0001		
3	A0003 A0007 A0008		
4	A0004 A0005 A0006		
5	A0009		
6	A0010		
7	A0011 A0014		
8	A0012 A0013		

Fonte: elaboração própria (aplicação do ELECTRE III-IV)

O quadro 5.8 mostra três colunas que representam, respectivamente, os resultados de hierarquia de pré-ordem final, ordenação ascendente e descendente. A primeira hierarquia consiste na ordem que tem por base a estrutura de preferência pré-ordem completa em que há classificação das alternativas com possibilidade de empate. No caso de ordenação descendente, identifica-se que A2 é a melhor opção, permanecendo em primeiro lugar também para a ordenação descendente, enquanto A2 e A1 apresentam a mesma posição para ordenação ascendente.

Pode-se observar também que A3 se mostra sensível a mudanças, visto que, na ordenação descendente ocupa a quinta posição e na ordenação ascendente posiciona-se em segundo lugar na hierarquia. Finalmente, a ordenação final pode ser visualizada na tabela 5.9.

Tabela 5.9– Ordenação final

Ordem	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Alternativa	A2	A1	A7 A8	A3	A4 A5 A6	A9	A10	A14	A11	A12 A13

Fonte: elaboração própria (aplicação do ELECTRE III-IV)

Análise de sensibilidade para o ELECTRE IV

A análise de sensibilidade no ELECTRE se manifesta sob duas formas: variação sobre as ponderações e mudanças nos parâmetros. No caso do ELECTRE IV, o estudo do comportamento das alternativas pode ser feito pela definição de novos limites de preferência e indiferença para os critérios, visto que neste método não se utilizam pesos.

Foram estabelecidos três novos cenários com diferentes parâmetros para se conhecer as mudanças nos resultados das alternativas. O estudo indicou que aquelas opções de projeto mais sensíveis foram A3, A9 e A14. Os resultados da hierarquia para análise de sensibilidade obtida estão apresentados no Apêndice C.

5.4 Conclusões sobre a aplicação do modelo

Os dois métodos mostram-se compreensíveis aos tomadores de decisão. No caso do PROMETHEE II, a modelagem de preferência foi aplicada sem dificuldade, pois os tomadores de decisão conseguiram associar os limites a um gráfico. O processo de modelagem de preferência revelou, no entanto, que a maior dificuldade, para os decisores, foi a definição dos limites de preferência e indiferença em vez de atribuição de pesos aos critérios. Nesse caso, pode-se dizer que houve maior dificuldade na análise intracritério do que intercritério.

O gráfico GAIA permitiu investigar as diferenças de preferências individuais, apesar do consenso obtido para a definição dos critérios de decisão. O *software* D-SIGHT também teve importante contribuição, pois propiciou uma análise minuciosa não somente para se obter da ordenação, mas sobre o desempenho de cada alternativa, análise de sensibilidade e influência dos pesos em relação às alternativas.

O conjunto de recursos disponíveis pelo ELECTRE III-IV, cuja análise é bastante diferenciada do PROMETHEE II, permitiu entender o grau de superação (estrita ou fraca preferência, indiferença e incomparabilidade) além das ordenações ascendente e descendente. O sistema de apoio à decisão utilizado para o ELECTRE é simples e adequado para os objetivos do modelo de priorização de projetos.

Comparando os resultados do Cenário I em que foi aplicado o PROMETHEE II, e os resultados de ordenação do ELECTRE IV, em que as preferências são do mesmo agente de decisão, conclui-se que os dois métodos apresentaram consistência na ordenação (tabela 5.10). É interessante observar que as alternativas que tiveram mudança na posição foram aquelas mais sensíveis como A3 e A14. Isso prova que, para situações em que há dificuldade de estabelecer pesos, o ELECTRE IV torna-se adequado para hierarquia de projetos, portanto, é útil no tratamento de informações imprecisas.

Tabela 5.10 – Comparativo de hierarquia entre PROMETHEE II e ELECTRE IV

Ordem	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
PROMETHEE II	A2	A1	A7 A8	A3	A4 A5 A6	A9	A10	A14	A11	A12 A13
ELECTRE IV	A2	A1	A7 A8	A4 A5 A6	A3	A9	A14	A10	A11	A12 A13

Fonte: elaboração própria

Pode-se concluir que o projeto A2, apresentou melhor desempenho na maior parte das situações, além de ser alternativa bastante estável, enquanto A3 se configura com o das alternativas mais instáveis do processo.

Houve muitas situações de empate no problema, decorrentes de igualdade nos desempenhos das alternativas. Sugere-se maior precisão na definição de escalas e dos atributos. Dessa forma, é possível maior precisão na comparação par a par entre as alternativas.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As limitações de recursos financeiros fazem com que seja preciso estabelecer prioridades para execução de projetos de saneamento. Fica evidente a necessidade de estruturação do processo de decisão no planejamento de projetos. Com efeito, o objetivo da pesquisa foi desenvolver um modelo multicritério de decisão para apoiar a hierarquia de projetos de abastecimento de água e esgotamento sanitário. Em sequência são apontadas as principais conclusões do estudo desenvolvido.

6.1 Conclusões

O desenvolvimento do modelo de priorização foi de grande valia, pois requisitou conhecimento em diversas dimensões técnicas, ambientais, sociais e econômicas associadas ao planejamento de projetos sanitários. Todas as etapas de estudo desenvolvidas - contexto de saneamento, revisão bibliográfica, principais aplicações de multicritério em saneamento, técnicas de decisão em grupo - forneceram subsídios para a aplicabilidade do modelo de decisão.

Efetivamente, a aplicação numérica também teve importante contribuição de forma para estudar o modelo diante de um problema real de priorização de projetos. O caso analisado no contexto das bacias PCJ foi referência para aplicação, pois apresentou as seguintes propriedades: limitação de recursos financeiros, por isso a priorização de projetos; problemática de hierarquia; necessidade de transparência na decisão; os critérios de decisão foram estabelecidos em grupo e por meio de consenso entre os agentes; critérios são conflitantes e abrangem naturezas diferentes.

Os recursos disponíveis pelos métodos multicritério aplicados por meio do sistema de apoio à decisão propiciou uma análise bem detalhada sobre as potencialidades das alternativas. Foi possível visualizar não somente a ordenação, mas também todas as propriedades de superação de cada alternativa pelas matrizes e gráficos apresentados.

A análise metodológica realizada com os modelos de objetivos (M.O), regras (MRN) e processos de negócio (MPN) tornou possível estruturar de forma sintética os principais conceitos e procedimentos da metodologia multicritério de apoio à decisão

A aplicação do PROMETHEE II manifestou-se como compreensível aos tomadores de decisão devido à associação gráfica das preferências individuais aos seis tipos de critérios generalizados. O método GAIA colaborou no sentido de comparar as preferências individuais e perceber a influência dos critérios nas opções de projetos. O estudo sob os três cenários revelou a diferença entre as preferências individuais, mesmo após o consenso sobre os critérios entre os integrantes

O ELECTRE IV mostrou-se bastante eficiente no tratamento de informações imprecisas. Foi possível evoluir e tirar conclusões a respeito das alternativas sem a necessidade de pesos aos critérios. Este método permite apoiar o processo de decisão para resolver os possíveis conflitos nos critérios de avaliação.

Os dois métodos mostram-se resultados consistentes entre si, esse fato é observado pela semelhança na ordenação final cujos parâmetros de preferência foram atribuídos pelo mesmo agente de decisão. Verifica-se também que a aplicação numérica revelou que se deve ter cautela na definição e valores de desempenhos dos critérios, além de que hei de observar o processo de transformação de escalas. Esse fato é evidenciado pelas situações de empate na ordenação dos projetos das bacias PCJ.

Considera-se, então, que os objetivos do trabalho foram atingidos e a metodologia multicritério tornou possível estruturar o processo de decisão em saneamento de forma racional e transparente. Com suporte no trabalho desenvolvido, é possível replicar o modelo em outras situações em que seja necessário hierarquizar projetos de saneamento.

6.2 Sugestões para Futuros Estudos

O modelo desenvolvido pode ser aprimorado na medida em que são realizadas outras aplicações similares. Quanto à formulação dos critérios pode-se focar no estudo dos indicadores, ou seja, examinar quais possuem melhor representatividade para a hierarquia de projetos de abastecimento de água e esgotamento sanitário.

Outro fato importante diz respeito às formas de abordagem ao decisor(es). A aplicação numérica considerou a preferência coletiva para o desenvolvimento dos critérios e estudou as diferenças entre as preferências individuais para os parâmetros de decisão. Como sugestão para futuros trabalhos, pode-se investigar minuciosamente a decisão em grupo com múltiplos critérios. Por exemplo, é possível associar técnicas como *brainstorming* ou Delphi para a formulação dos critérios, ou então, examinar outros modelos matemáticos que realizem a agregação de preferências caso não haja consenso entre os decisores. Perspectivas diferentes podem contribuir para que o modelo de decisão seja mais transparente e tenha maior aceitabilidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, P. F. S.; STEPHAN, C. **Análise de investimentos**. Rio de Janeiro: Campus, 1982.

ABRISHAMCHI, A.; EBRAHIMIAN, A.; TAJRISHI, M.; MARÍÑO, M. A. Case study: application of multicriteria decision making to urban water supply. **Water Resources Planning and Management**, v. 131, n. 4, p. 326-335, 2005.

ABU-TALEB, M. F.; MARESCHAL, B. Water resources planning in the Middle East: application of the PROMETHEE V multicriteria method. **European Journal of Operational Research**, v. 81, p. 500-511, 1995.

AL-KLOUB, B.; AL-SHEMMERI, T.; PEARMAN, A. The role of weights in multi-criteria decision aid and the ranking of water projects in Jordan. **European Journal of Operational Research**, v. 99, p. 278-288, 1997.

AL-RASHDAN, D.; AL-KLOUB, B.; DEAN, A.; AL-SHEMMERI, T. Environmental impact assessment and ranking the environmental projects in Jordan. **European Journal of Operational Research**, v. 118, p. 30-45, 1999.

ANAGNOSTOPOULOS, K. P.; GRATZIOU, M.; VAVATSIKOS, A. P. Using the fuzzy Analytic Hierarchy Process for selecting wastewater facilities at prefecture level. **European Water**, v. 19/20, p. 15-24, 2007.

AROEIRA, R. D. M. Plano Municipal de Saneamento Básico: a experiência de Belo Horizonte. In: BRASIL **Lei Nacional de Saneamento Básico**: perspectivas para as políticas e a gestão dos serviços públicos. Brasília: Programa Modernização do Setor Saneamento, v. 1, 2009. Cap. 1.2, p. 54-86.

AZEVEDO, L. G. T.; FONTANE, D. G.; LABADE, J. W. ; PORTO, R. L. L. Integration of water quantity and quality in strategic river basin planning. **Journal of Water Resources Planning and Management**, v. 126, n. 2, p. 85-97, 2000.

BALTAR, A. M.; CORDEIRO NETTO, O. D. M. **Métodos multicritério aplicados à hierarquização de investimentos na área de recursos hídricos**. Simpósio Internacional de Gestão de Recursos Hídricos. Gramado: ABRH. 1998.

BANA E COSTA, C. Introdução geral às abordagens multicritério de apoio à tomada de decisão. **Investigação Operacional**, v. 8, n. 1, p. 117-139, 1988.

BANA E COSTA, C.; STEWART, T. J.; VANSNICK, J. Multicriteria decision analysis: some thoughts on the tutorial and discussion sessions of the ESIGMA meetings. **European Journal of Operational Research**, v. 99, p. 28-37, 1997.

BANCO DO NORDESTE. **Manual de impactos ambientais**. Fortaleza: Banco do Nordeste, 1999.

BELTON, V.; STEWART, T. J. **Multiple criteria decision analysis: an integrated approach**. Norwell: Kluwer Academic Publishers, 2001.

BENDOLY, E.; BACHRACH, D. G. A process-based model for priority convergence in multi-period group decision-making. **European Journal of Operational Research**, v. 148, p. 534-545, 2003.

BERNARDINI, A.; HAYEZ, Q; MACHARIS, C.; DE SMET, Y. Multicriteria analysis of policy options scenarios to reduce the aviation climate impact: an application of the PROMETHEE based D-SIGHT software. **Operational Research Society**, London, p. 1-11, OR52 Royal Holloway 2010. ISSN 0903440474.

BERTRAND-KRAJEWSKI, J. L.; BARRAUD, S.; LE GAUFFRE, P.; BAER, E. Infiltration in sewer systems: multi-criteria comparison of investment/rehabilitation strategies. **Water Practice & Technology**, v. 2, p. 1-8, 2007.

BOLLOJU, N. Aggregation of analytic hierarchy process models based on similarities in decision makers preferences. **European Journal of Operational Research**, v. 128, n. 3, p. 499-508, 2001.

BOSE, U.; DAVEY, A. M.; OLSON, D. L. Multi-attribute utility methods in group decision making: past applications and potential for inclusion in GDSS. **Omega**, v. 25, n. 6, p. 691-706, 1997.

BOUYSSOU, D. Ranking methods based on valued preference relations: a characterization of the net flow method. **European Journal of Operational Research**, v. 60, p. 61-67, 1992.

BOUYSSOU, D.; MARCHANT, T.; PIRLOT, M.; PERNY, P.; TSOUKIÀS, A.; VINCKE, P. **Evaluation and decision models: a critical perspective**. Boston: Kluwer Academic Publishers, 2000.

BOUYSSOU, D.; PIRLOT, M. A characterization of concordance relations. **European Journal of Operational Research**, v. 167, n. 2, p. 427-443, 2005.

BRANS, J. Ethics and decision. **European Journal of Operational Research**, v. 136, p. 340-352, 2002.

BRANS, J.; MARESCHAL, B. The PROMCALC & GAIA decision support system for multicriteria decision aid. **Decision Support Systems**, v. 12, p. 297-310, 1994.

BRANS, J.; MARESCHAL, B. The PROMETHEE methods. In: FIGUEIRA, J.; GRECO, S.; EHRGOTT, M. **Multiple criteria decision analysis: state of the art surveys**. New York: Springer, 2005. Cap. 5, p. 163-195.

BRANS, J.; VINCKE, P.; MARESCHAL, B. How to select and how to rank projects: The PROMETHEE method. **European Journal of Operational Research**, v. 24, p. 228-238, 1986.

BRASIL. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **A implementação da cobrança pelo uso de recursos hídricos e Agência de Água das Bacias dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí**. Brasília: ANA, 2007.

BRASIL. Lei nº 11.445, 05 de janeiro de 2007. **Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico**; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei no 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências. Brasília, DF.

BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Avaliação de impacto na saúde das ações de saneamento: marco conceitual e estratégia metodológica**. Organização Pan-Americana da Saúde. Brasília: Ministério da Saúde, 2004.

BRASIL. SECRETARIA NACIONAL DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: diagnóstico dos serviços de água e esgotos** – 2009. Brasília: Ministério das Cidades, 2011.

BUBENKO, J.; PERSSON, A.; STIRNA, J. **User guide of the knowledge management approach using enterprise knowledge patterns**. Sweden. 2001.

BUCHANAN, J.; SHEPPARD, P. **Ranking projects using ELECTRE method**. Proceedings of the 33rd Annual Conference of the Operational Research Society of New Zealand. Auckland: ORSNZ. 1998.

CAI, X.; LASDON, L.; MICHELSEN, A. M. Group decision making in water resources planning using multiple objective analysis. **Water Resources Planning and Management**, v. 130, n. 4, p. 4-14, 2004.

CAMPELLO DE SOUZA, F. M. **Decisões racionais em situações de incerteza**. Recife: Universitária da UFPE, 2002.

CAMPOS, J. N. B. Participação do público no processo decisório: Açude Castanhão, um estudo de caso. **Revista de Administração Pública**, v. 29, n. 3, p. 157-171, 1995.

CAMPOS, V. R.; ALMEIDA, A. T. Modelo multicritério de decisão para localização de Nova Jaguaribara com VIP Analysis. **Pesquisa Operacional**, v. 26, n. 1, p. 91-107, 2006.

CAMPOS, V. R.; CASTILLO, L. A. M.; CAZARINI, E. W. **Modelagem do apoio à decisão multicritério utilizando a metodologia EKD**. XX Encontro Nacional de Engenharia de Produção. São Carlos: Abepro. 2010.

CASSIANI, S. H. D. B.; RODRIGUES, L. P. A Técnica de Delphi e a Técnica Nominal como estratégias de coleta de dados das pesquisas em enfermagem. **Acta Paulista de Enfermagem**, v. 9, n. 3, p. 76-83, 1996.

CHIAVENATO, I. **Introdução à teoria geral da administração**. 5. ed. São Paulo: Makron Books, 1997.

CHUNG, E.; LEE, K. S. Prioritization of water management for sustainability using hydrologic simulation model and multicriteria decision making techniques. **Journal of Environmental Management**, v. 90, p. 1502–1511, 2009.

COBRAPE. COMPANHIA BRASILEIRA DE PROJETOS E EMPREENDIMENTOS. **Plano das bacias hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí 2010 a 2020: relatório síntese.** São Paulo: Neoband Soluções Gráficas, 2011.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA 01, de 23 de janeiro de 1986. **Dispõe sobre procedimentos relativos ao Estudo de Impacto Ambiental.** Publicada no Diário Oficial da União, de 17/02/1986, p. 2548-2549.

CONTADOR, C. R. **Projetos sociais: avaliação e prática.** 3. ed. São Paulo: Atlas, 1997.

CORDEIRO NETTO, O.; PARENT, É.; DUCKSTEIN, L. Multicriterion design of long-term water supply in southern France. **Journal of Water Resources Planning and Management**, v. 122, n. 6, p. 403-413, 1996.

COSTA, S. S.; HELLER, L.; BRANDÃO, C. C. S.; COLOSIMO, E. A. Indicadores epidemiológicos aplicáveis a estudos sobre a associação entre saneamento e saúde de base municipal. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 10, p. 118-127, 2005.

DAMART, S.; DIAS, L. C.; MOUSSEAU, V. Supporting groups in sorting decisions: Methodology and use of a multi-criteria aggregation/disaggregation DSS. **Decision Support Systems**, v. 43, p. 1464-1475, 2007.

DELBECQ, A. L.; VAN, A. H. A group process model for problem Identification and program planning. **The Journal of Applied Behavioral Science**, v. 7, n. 4, p. 466-492, 1971.

DEMO, P. **Metodologia do conhecimento científico.** São Paulo: Atlas, 2000.

DIAS, L. C.; CLÍMACO, J. N. Additive aggregation with variable interdependent parameters: the VIP Analysis software. **Journal of Operational Research Society**, v. 51, n. 9, p. 1070-1082, 2000.

DIAS, L. C.; CLÍMACO, J. N. Dealing with imprecise information in group multicriteria decisions: a methodology and a GDSS architecture. **European Journal of Operational Research**, v. 160, p. 291-307, 2005.

DOUMPOS, M.; ZOPOUNIDIS, C. **Multicriteria decision aid classification methods.** Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2002.

DRUCKER, P. F. A decisão eficaz. In: HARVARD BUSINESS REVIEW. **Tomada de decisão**. Rio de Janeiro: Campus, 2001.

D-SIGHT. **Manual**. Université Libre de Bruxelles. Disponível em: <http://www.d-sight.com/manual/manual.html>. Acesso em: 12 de outubro de 2011.

DYE, T. R. Mapeamento dos modelos de análise de políticas públicas. In: HEIDEMANN, F. G.; SALM, J. F. **Políticas públicas e desenvolvimento. Bases epistemológicas e modelos de análise**. Brasília: Universidade de Brasília, 2009.

DYER, R. F.; FORMAN, E. H. Group decision support with the Analytic Hierarchy Process. **Decision Support Systems**, v. 8, p. 99-124, 1992.

EKEL, P. QUEIROZ, J.; PARREIRAS, R.; PALHARES, R. Fuzzy set based models and methods of multicriteria group decision making. **Nonlinear Analysis**, v. 71, p. 409-419, 2009.

FARIA, S. A.; FARIA, R. C. Cenários e perspectivas para o setor de saneamento e sua interface com os recursos hídricos. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 9, p. 202-210, 2004.

FATTAHI, P.; FAYYAZ, S. A compromise programming model to integrated urban water management. **Water Resource Management**, v. 24, n. 6, p. 1211-1227, 2009.

GALVÃO JÚNIOR, A. D. C.; SILVA, A. C. **Regulação: indicadores para a prestação de serviços de água e esgoto**. 2. ed. Fortaleza: Expressão Gráfica e Editora Ltda, 2006.

GALVÃO JUNIOR, A. D. C.; BASILO SOBRINHO, G.; SAMPAIO, C. C. **A informação no contexto dos planos de saneamento básico**. Fortaleza: Expressão Gráfica Editora, 2010.

GIULIANO, G. Multicriteria Method for Transportation Investment Planning. **Transportation Research**, v. 19, n. 1, p. 29-41, 1985.

GOMES, L. F. A. M. **Teoria da decisão**. São Paulo: Thomson, 2007.

GOMES, L. F. A. M.; ARAYA, M. C. G.; CARIGNANO, C. **Tomada de decisões em cenários complexos: introdução aos métodos discretos do apoio multicritério**. São Paulo: Thomson, 2004.

GOMES, L. F. A. M.; GOMES, C. F. S.; ALMEIDA, A. T. D. **Tomada de decisão gerencial: enfoque multicritério**. São Paulo: Atlas, 2002.

GÓMEZ-LÓPEZ, M. D.; BAYO, J.; GARCÍA-CASCALES, M. S.; ANGOSTO, J. M. Decision support in disinfection technologies for treated wastewater reuse. **Journal of Cleaner Production**, v. 17, p. 1504–1511, 2009.

GOUMAS, M.; LYGEROU, V. An extension of the PROMETHEE method for decision making in fuzzy environment: ranking of alternative energy exploitation projects. **European Journal of Operational Research**, v. 123, p. 606-613, 2000.

HAJKOWICZ, S. A. Supporting multi-stakeholder environmental decisions. **Journal of Environmental Management**, v. 88, p. 607-614, 2008.

HAJKOWICZ, S. A.; COLLINS, K. A Review of Multiple Criteria Analysis for Water Resource Planning and Management. **Water Resource Management**, v. 21, p. 1553–1566, 2007.

HALOUANI, N.; CHABCHOUB, H.; MARTEL, J. M. PROMETHEE-MD-2T method for project selection. **European Journal of Operational Research**, v. 195, p. 841–849, 2009.

HAMMOND, J. S.; KEENEY, R. L.; RAIFFA, H. Trocas equilibradas. Um método racional para negociar. In: HARVARD BUSINESS REVIEW. **Tomada de decisão**. Rio de Janeiro: Campus, 2001.

HARADA, A. L. **Uso de análise multicritério na ordenação de prioridades em empreendimentos de saneamento**. 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. João Pessoa. 2001.

HELLER, L. O papel da União na política de Saneamento Básico: entre o que se deve e o que se pode esperar. In: BRASIL **Instrumento das políticas e da gestão dos serviços públicos de saneamento básico**. Brasília: Ministério das Cidades, v. 1, 2009. Cap. 2.

HELLER, L.; CASTRO, J. E. Política pública de saneamento: apontamentos teórico-conceituais. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 12, n. 3, p. 284-295, 2007.

HERMANS, C. et al. Collaborative environmental planning in river management: an application of multicriteria decision analysis in the White River Watershed in Vermont. **Journal of Environmental Management**, v. 84, p. 534-546, 2007.

HOKKANEN, J.; SALMINEN, P. ELECTRE III and IV decision aids in an environmental problem. **Journal of Multi-Criteria Decision Analysis**, v. 6, p. 215-226, 1997.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. IBGE. **Indicadores de desenvolvimento sustentável: Brasil 2010**. Rio de Janeiro: Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão, v. 7, 2010.

ISLEI, G.; LOCKEIT, G. Group decision making: suppositions and practice. **Socio-Economic Planning**, v. 25, n. 1, p. 67-81, 1991.

JOUBERT, A.; STEWART, T. J.; EBERHARD, R. Evaluation of water supply augmentation and water demand management options for the city of CapeTown. **Journal of Multi-Criteria Decision Analysis**, v. 12, p. 17-25, 2003.

KACPRZYK, J.; FEDRIZZI, M.; NURMI, H. Group decision making and consensus under fuzzy preferences and fuzzy majority. **Fuzzy Sets and Systems**, v. 49, p. 21-31, 1992.

KARNIB, A. An approach to elaborate priority preorders of water resources projects based on multi-criteria evaluation and fuzzy sets analysis. **Water Resource Management**, v. 18, p. 13-33, 2004.

KEENEY, R. L.; RAIFFA, H. **Decision with multiple objectives: preferences and value tradeoffs**. New York: John Wiley, 1976.

KIM, S. H.; AHN, B. S. Interactive group decision making procedure under incomplete information. **European Journal of Operational Research**, v. 116, p. 498-507, 1999.

LEONETI, A. B. **Avaliação de modelo de tomada de decisão para escolha de sistema de tratamento de esgoto sanitário**. Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade da Universidade de São Paulo. Ribeirão Preto. 2009.

LEYVA-LÓPEZ, J. C.; FERNÁNDEZ-GONZÁLEZ, E. A new method for group decision support based on ELECTRE III methodology. **European Journal of Operational Research**, v. 148, p. 14-27, 2003.

LIU, Y. I. Collaborative Knowledge Acquisition. **Expert Systems with Applications**, v. 5, p. 1-13, 1992.

LOOTSMA, F. A. **Multi-Criteria decision analysis via ratio and difference judgement**. Dordrecht: Kluwer academic publishers, 1999.

LU, J.; ZHANG, G.; DA RUAN; WU, F. **Multi-objective group decision making: methods, software and applications with fuzzy set techniques**. London: Imperial College Press, v. 6, 2007.

MACHARIS, C.; BRANS, J.; MARESCHAL, B. The GDSS PROMETHEE procedure. **Decision Support Systems**, v. 7, p. 283-307, 1998.

MARGULIS, S.; HUGHES, G.; GAMBRILL, M.; AZEVEDO, L. G. T. **Brasil: a gestão da qualidade da água inserção de temas ambientais na agenda do setor hídrico**. Banco Mundial. Brasília. 2002.

MICELI, M. **Apoio ao setor de saneamento**. Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. Rio de Janeiro. 2008.

MORAES, L. R. S. Política e Plano Municipal de Saneamento Básico: aportes conceituais e metodológicos. In: BRASIL **Lei Nacional de Saneamento Básico: perspectivas para as políticas e a gestão dos serviços públicos**. Brasília: Programa Modernização do Setor Saneamento, v. 1, 2009. Cap. 1, p. 31-53.

MORAIS, D. C.; ALMEIDA, A. T. Water supply system decision making using multicriteria analysis. **Water SA (on-line)**, v. 32, n. 2, p. 229-236, 2006.

MORAIS, D. C.; ALMEIDA, A. T. Group decision-making for leakage management strategy of water network. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 52, p. 441–459, 2007.

MOTTA, R. S. D. **Questões regulatórias do setor de saneamento no Brasil**. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Rio de Janeiro. 2004.

MUTIKANGA, H. E.; SHARM, S. K.; VAIRAVAMOORTHY, K. Multi-criteria decision analysis: a strategic planning tool for water loss management. **Water Resources Management**, 2011.

NEVES, C. D.; THOMAZ, F. R. **Seleção de projetos de esgotamento sanitário: caso do Paraíba do Sul**. XIX Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Rio de Janeiro: Abepro. 1999.

OLIVEIRA, S. V. W. B. D. **Modelo para tomada de decisão na escolha de sistema de tratamento de esgoto sanitário**. Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade da Universidade de São Paulo. São Paulo. 2004.

OLSON, D. L. **Decision aids for selection problems**. New York: Springer, 1996.

ÖZEROL, G.; KARASAKAL, E. Interactive outranking approaches formulticriteria decision-making problems with imprecise information. **Journal of the Operational Research Society**, v. 59, n. 9, p. 1253-1268, 2008.

PARREIRAS, R.; EKEL, P. Y.; MARTINI, J. S. C.; PALHARES, R. M. A flexible consensus scheme for multicriteria group decision making under linguistic assessments. **Information Sciences**, v. 180, p. 1075-1089, 2010.

PENA, R. R.; REBOLLO, R. P.; OLIVERAS, K. G.; MATEU, A.V. **Use and evaluation of ELECTRE III/IV**. Tarragona: Universidad Rovira i Virgili, DEIM-RT, 2007. Disponível em: <http://deim.urv.cat/recerca/reports/>. Acesso em: 12 de outubro de 2011.

PENIWATI, K. Criteria for evaluating group decision-making methods. **Mathematical and Computer Modelling**, v. 46, p. 935-947, 2007.

PEREIRA, A. G.; MUNDA, G.; PARUCCINI, M. Generating alternatives for sitting retail and service facility using genetic algorithms and multiple criteria decision techniques. **Journal of Retailing and Consumer Services**, v. 1, n. 2, p. 40-47, 1994.

PINHO, D. B.; VASCONCELLOS, M. A. S. D. **Manual de economia**. 5. ed. São Paulo: Saraiva, 2005.

PODINOVSKI, V. V. A DSS multicriteria analysis with imprecisely specified tradeoffs. **European Journal of Operational Research**, v. 113, p. 261-270, 1999.

RANGEL, L. A. D.; GOMES, L. F. A.; MOREIRA, R. A. Decision theory with multiple criteria: an application of ELECTRE IV and TODIM to SEBRAE/RJ. **Pesquisa Operacional**, v. 29, n. 3, p. 577-590, 2009.

REZENDE, S. C.; HELLER, L. O saneamento no Brasil: políticas e interfaces. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2008.

ROGERS, M.; BRUEN, M.; MAYSTRE, L.Y. **Electre and decision support**: methods and applications in engineering and infrastructure investment. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2000.

ROY, B. **Multicriteria methodology for decision aiding**. Netherland: Kluwer academic publishers, 1996.

ROY, B.; HUGONNARD, J. C. Ranking of suburban line extension projects on the ParisMetro system by a multicriteria method. **Transportation Research** , v. 16, n. 4, p. 301-312, 1982.

SALMINEN, P.; HOKKANEN, J.; LAHDELMA, R. Comparing multicriteria methods in the context of environmental problems. **European Journal of Operational Research**, v. 104, p. 485-496, 1998.

SAMPIERI, R. H.; COLLADO, C. F.; LUCIO, P. B. **Metodologia de pesquisa**. 3. ed. São Paulo: McGraw-Hill, 2006.

SÁNCHEZ, L. E. **Avaliação de impacto ambiental**: conceitos e métodos. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

SILVA, E. L.; MENEZES, E. M. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. Laboratório de Ensino à Distância da UFSC. Florianópolis. 2001.

SILVA, N. V. S.; NASCIMENTO, R. Q.; SILVA, T. C. Modelo de priorização de investimentos em saneamento básico utilizando a técnica de programação linear com base em indicadores ambientais. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 13, n. 2, p. 171-180, 2008.

SILVA, P. A. R. E. **Contribuição para o estabelecimento de metodologia de suporte à decisão em políticas públicas de saneamento**. Instituto de Geociências e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista. Rio Claro. 2000.

SOARES, P. F. **Planejamento e projetos econômicos**. Fortaleza: FUNECE, 1999.

SOUZA, A.; CLEMENTE, A. Os projetos e as novas tecnologias de produção e gestão. In: CLEMENTE, A. **Projetos empresariais e públicos**. São Paulo: Atlas, 2002. Cap. 3, p. 40-57.

SOUZA, M. A. A.; CORDEIRO, B. S.; SILVA, C. L. Avaliação multiobjetivo e multicritério de alternativas de gestão de lodo de fossa/ tanque séptico. In: ANDREOLI, C. V. **Lodo de fossa e tanque séptico: caracterização, tecnologias de tratamento, gerenciamento e destino final**. Rio de Janeiro: ABES, 2009. Cap. 7.

STAGL, S. Multicriteria evaluation and public participation: the case of UK energy policy. **Land Use Policy**, v. 23, p. 53-62, 2006.

TAN, B. C. Y.; TEO, H.-H.; WEI, K.-K. Promoting consensus in small decision making groups. **Information & Management**, v. 28, p. 251-259, 1995.

TAVANA, M. CROSS: a multicriteria group decision making model for evaluating and prioritizing advanced technology at NASA. **Interfaces**, v. 33, n. 3, p. 40-56, 2003.

TECLE, A.; FOGEL, M.; DUCKSTEIN, L. Multicriterion Selection of Wastewater Management Alternatives. **Journal of Water Resources Planning and Management**, v. 114, n. 4, p. 383-398, 1988.

TEIXEIRA, C. A.; PORTO, R. L. L. Avaliação da qualidade da água e autodepuração dos rios da bacia do rio Piracicaba. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, v. 16, p. 20, 2008.

TEIXEIRA, J. C.; CARDOSO DE MELLO, M. C. **Modelo de Priorização de Investimentos em Saneamento para Municípios**. Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Belo Horizonte: ABES. 2008.

TEIXEIRA, J. C.; HELLER, L. Modelo de priorização de investimentos em saneamento com ênfase em indicadores de saúde: desenvolvimento e aplicação em uma companhia estadual. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 6, n. 3, p. 138-146, 2001.

TEIXEIRA, J. C.; HELLER, L. Priorização de investimentos em saneamento baseada em indicadores epidemiológico e financeiro. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 8, n. 3, p. 187-195, 2003.

TSOUKIÀS, A. From decision theory to decision aiding methodology. **European Journal of Operational Research**, v. 187, p. 138–161, 2008.

VALDES, A.; WAGNER, E.; MARZALL, I.; SIMAS, J.; MORELLI, J.; PEREIRA, L. AZEVEDO, L. G. T. **Impactos e externalidades sociais da irrigação no semi-árido brasileiro**. Banco Mundial. Brasília. 2004. ISBN: 85-88192-11-x.

VARGAS, M. C.; LIMA, R. F. D. Concessões privadas de saneamento no Brasil: bom negócio para quem? **Ambiente & Sociedade**, v. 7, n. 2, p. 67-95, 2004.

VERNADAT, F. B. **Interoperable enterprise systems: architectures and methods**. 12th IFAC Symposium. Saint-Etienne: Information Control Problems in Manufacturing - INCOM. 2006.

VINCKE, P. Analysis of multicriteria decision aid in Europe. **European Journal of Operational Research**, v. 25, p. 160-168, 1986.

VINCKE, P. **Multicriteria decision-aid**. New York: John Wiley, 1992.

WOILER, S.; MATHIAS, F. W. **Projetos: planejamento, elaboração e análise**. São Paulo: Atlas, 1996.

YIN, R. K. **Estudo de caso. Planejamento e métodos**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.

YOON, K.; HWANG, C.-L. **Multiple attribute decision making an introduction**. Thousand Oaks: Sage Publications, 1995.

ZARGHAMI, M.; ABRISHAMCHI, A.; ARDAKANIAN, R. Multi-criteria decision making for integrated urban water management. **Water Resource Management**, v. 22, n. 8, p. 1017-1029, 2008.

ZOPOUNIDIS, C.; DOUMPOS, M. A preference disaggregation decision support system for financial classification problems. **European Journal of Operational Research**, v. 130, p. 402-413, 2001.

ZUFFO, A. C. **Seleção e aplicação de métodos multicriteriais ao planejamento ambiental de recursos hídricos**. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Carlos. 1998.

ZUFFO, A. C.; REIS, L. F. R.; SANTOS, R. F.; CHAUDHRY, F. H. Aplicação de métodos multicriteriais ao planejamento de Recursos Hídricos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 7, p. 81-102, 2002.

APÊNDICE

APÊNDICE A - VALORES DOS FLUXOS DE SUPERAÇÃO - PROMETHEE II

Cenário I

Actions	Ranks	Net Fow	Flow +	Flow -
A2	1	0,34	0,39	0,05
A1	2	0,28	0,32	0,03
A7	3	0,23	0,31	0,08
A8	4	0,23	0,31	0,08
A6	5	0,17	0,23	0,06
A5	6	0,17	0,23	0,06
A4	7	0,17	0,23	0,06
A3	8	-0,01	0,25	0,26
A9	9	-0,02	0,14	0,16
A14	10	-0,19	0,10	0,29
A10	11	-0,25	0,14	0,39
A11	12	-0,31	0,08	0,39
A13	13	-0,41	0,07	0,48
A12	14	-0,41	0,07	0,48

Cenário II

Actions	Ranks	Net Fow	Flow +	Flow -
A1	1	0,32	0,35	0,03
A8	2	0,29	0,39	0,11
A7	3	0,29	0,39	0,11
A2	4	0,28	0,34	0,06
A6	5	0,22	0,28	0,06
A5	6	0,22	0,28	0,06
A4	7	0,22	0,28	0,06
A9	8	0,01	0,18	0,16
A3	9	-0,02	0,28	0,30
A14	10	-0,31	0,10	0,41
A11	11	-0,32	0,11	0,43
A10	12	-0,34	0,17	0,52
A13	13	-0,42	0,09	0,51
A12	14	-0,42	0,09	0,51

Cenário III

Actions	Ranks	Net Fow	Flow +	Flow -
A2	1	0,22	0,28	0,05
A1	2	0,18	0,22	0,03
A8	3	0,17	0,21	0,05
A7	4	0,17	0,21	0,05
A3	5	0,16	0,21	0,05
A6	6	0,04	0,11	0,07
A5	7	0,04	0,11	0,07
A4	8	0,04	0,11	0,07
A10	9	0,02	0,10	0,08
A14	10	-0,15	0,03	0,18
A9	11	-0,15	0,03	0,18
A11	12	-0,17	0,02	0,19
A13	13	-0,28	0,00	0,28
A12	14	-0,28	0,00	0,28

APÊNDICE B- COMPARAÇÃO PAR A PAR (PROMETHEE II)

B.1. Cenário I

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14
A1	0,000	0,189	0,270	0,189	0,189	0,189	0,189	0,189	0,189	0,595	0,459	0,568	0,568	0,324
A2	0,162	0,000	0,432	0,162	0,162	0,162	0,257	0,257	0,351	0,568	0,622	0,730	0,730	0,486
A3	0,000	0,189	0,000	0,189	0,189	0,189	0,189	0,189	0,189	0,324	0,189	0,568	0,568	0,324
A4	0,000	0,000	0,270	0,000	0,000	0,000	0,095	0,095	0,189	0,405	0,459	0,568	0,568	0,324
A5	0,000	0,000	0,270	0,000	0,000	0,000	0,095	0,095	0,189	0,405	0,459	0,568	0,568	0,324
A6	0,000	0,000	0,270	0,000	0,000	0,000	0,095	0,095	0,189	0,405	0,459	0,568	0,568	0,324
A7	0,122	0,122	0,392	0,122	0,122	0,122	0,000	0,000	0,311	0,527	0,581	0,568	0,568	0,446
A8	0,122	0,122	0,392	0,122	0,122	0,122	0,000	0,000	0,311	0,527	0,581	0,568	0,568	0,446
A9	0,000	0,000	0,270	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,405	0,270	0,378	0,378	0,135
A10	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,095	0,095	0,189	0,000	0,189	0,486	0,486	0,324
A11	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,135	0,000	0,378	0,378	0,135
A12	0,000	0,000	0,270	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,270	0,270	0,000	0,000	0,081
A13	0,000	0,000	0,270	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,270	0,270	0,000	0,000	0,081
A14	0,000	0,000	0,270	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,270	0,270	0,243	0,243	0,000

Cenário II

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14
A1	0,000	0,188	0,312	0,188	0,188	0,188	0,188	0,188	0,188	0,750	0,500	0,625	0,625	0,438
A2	0,062	0,000	0,375	0,062	0,062	0,062	0,062	0,250	0,250	0,250	0,625	0,562	0,688	0,500
A3	0,000	0,188	0,000	0,188	0,188	0,188	0,188	0,188	0,188	0,438	0,188	0,625	0,625	0,438
A4	0,000	0,000	0,312	0,000	0,000	0,000	0,188	0,188	0,188	0,562	0,500	0,625	0,625	0,438
A5	0,000	0,000	0,312	0,000	0,000	0,000	0,188	0,188	0,188	0,562	0,500	0,625	0,625	0,438
A6	0,000	0,000	0,312	0,000	0,000	0,000	0,188	0,188	0,188	0,562	0,500	0,625	0,625	0,438
A7	0,188	0,188	0,500	0,188	0,188	0,188	0,000	0,000	0,375	0,750	0,688	0,625	0,625	0,625
A8	0,188	0,188	0,500	0,188	0,188	0,188	0,000	0,000	0,375	0,750	0,688	0,625	0,625	0,625
A9	0,000	0,000	0,312	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,562	0,312	0,438	0,438	0,250
A10	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,188	0,188	0,188	0,000	0,188	0,542	0,542	0,438
A11	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,250	0,000	0,438	0,438	0,250
A12	0,000	0,000	0,312	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,312	0,312	0,000	0,000	0,250
A13	0,000	0,000	0,312	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,312	0,312	0,000	0,000	0,250
A14	0,000	0,000	0,312	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,312	0,312	0,188	0,188	0,000

Cenário III

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14
A1	0,000	0,207	0,019	0,207	0,207	0,207	0,207	0,207	0,207	0,226	0,226	0,345	0,345	0,207
A2	0,172	0,000	0,191	0,172	0,172	0,172	0,172	0,172	0,379	0,191	0,398	0,517	0,517	0,379
A3	0,000	0,207	0,000	0,207	0,207	0,207	0,207	0,207	0,207	0,207	0,207	0,345	0,345	0,207
A4	0,000	0,000	0,019	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,207	0,019	0,226	0,345	0,345	0,207
A5	0,000	0,000	0,019	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,207	0,019	0,226	0,345	0,345	0,207
A6	0,000	0,000	0,019	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,207	0,019	0,226	0,345	0,345	0,207
A7	0,138	0,138	0,157	0,138	0,138	0,138	0,000	0,000	0,345	0,157	0,363	0,345	0,345	0,345
A8	0,138	0,138	0,157	0,138	0,138	0,138	0,000	0,000	0,345	0,157	0,363	0,345	0,345	0,345
A9	0,000	0,000	0,019	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,019	0,019	0,138	0,138	0,000
A10	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,207	0,000	0,207	0,345	0,345	0,207
A11	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,138	0,138	0,000
A12	0,000	0,000	0,019	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,019	0,019	0,000	0,000	0,000
A13	0,000	0,000	0,019	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,019	0,019	0,000	0,000	0,000
A14	0,000	0,000	0,019	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,019	0,019	0,138	0,138	0,000

APÊNDICE C – ANÁLISE DE SENSIBILIDADE ELECTRE IV

Cenário I		Cenário II	Cenário III
Rank	Alternative	<pre> graph TD A0002 --> A0001 A0001 --> A0004 A0004 --> A0005 A0005 --> A0006 A0006 --> A0007 A0007 --> A0008 A0008 --> A0009 A0009 --> A0003 A0003 --> A0010 A0010 --> A0011 A0011 --> A0014 A0014 --> A0012 A0012 --> A0013 </pre>	<pre> graph TD A0001 --> A0002 A0002 --> A0003 A0003 --> A0007 A0007 --> A0008 A0008 --> A0004 A0004 --> A0005 A0005 --> A0006 A0006 --> A0009 A0009 --> A0010 A0010 --> A0014 A0014 --> A0012 A0012 --> A0013 A0013 --> A0011 </pre>
1	A0002		
2	A0001		
3	A0003		
	A0007		
	A0008		
4	A0004		
	A0005		
	A0006		
5	A0009		
6	A0010		
7	A0011		
	A0014		
8	A0012		
	A0013		

ANEXO

ANEXO A – Deliberação Conjunta dos Comitês PCJ nº 077/07, de 05/10/2007

CRITÉRIOS GERAIS E ESPECÍFICOS PARA HIERARQUIZAÇÃO DE EMPREENDIMENTOS VISANDO À OBTENÇÃO DE RECURSOS DO FEHIDRO E DAS COBRANÇAS PELO USO DE RECURSOS HÍDRICOS NAS BACIAS PCJ (Cobranças PCJ) - EXERCÍCIO 2008

Art. 3º - Os “recursos para investimentos”, do orçamento de 2008, disponíveis para distribuição pelos Comitês PCJ, descontados os recursos necessários para os empreendimentos de caráter regional, serão:

I - Empregados em Estudos, Planos e Projetos até o limite máximo de 20% (vinte por cento);

II - Distribuídos conforme segue:

- a) **GRUPO 1: no mínimo 65%** (sessenta e cinco por cento) para as ações enquadradas nos subprogramas 3.1 e 3.4, PDC 3 (Recuperação da Qualidade dos Corpos D'Água), do Plano das Bacias PCJ 2004/2007;
- b) **GRUPO 2: até 35%** (trinta e cinco por cento) para os subprogramas 3.2 e 3.3, do PDC 3, e para os PDCs 1, 2 e de 4 a 8, do Plano das Bacias PCJ 2004/2007.

Art. 8º – Será a seguinte a forma de pontuação para o **GRUPO 1**, definido no Art. 3º:

I. Tipo de Empreendimento

- 5,0 pontos – obra cujo projeto foi financiado pelo FEHIDRO ou “cobranças federal e paulista”;
- 4,5 pontos – obra cujo projeto não foi financiado pelo FEHIDRO ou “cobranças federal e paulista”;
- 4,0 pontos – serviço ou equipamento cujo projeto foi financiado pelo FEHIDRO ou “cobranças federal e paulista”;
- 3,5 pontos – serviço ou equipamento cujo projeto não foi financiado pelo FEHIDRO ou “cobranças federal e paulista”;
- 3,0 pontos – projeto, plano ou estudo cujo termo de referência foi financiado pelo FEHIDRO ou “cobranças federal e paulista”;
- 2,0 pontos – projeto, plano ou estudo cujo termo de referência não foi financiado pelo FEHIDRO ou “cobranças federal e paulista”;
- 1,0 ponto – Termo de Referência.

II. Contrapartida oferecida

$$P_{cp} = P_{máx} \cdot (CP_{of} - CP_{min}) / (CP_{máx} - CP_{min})$$

Onde:

P_{cp} = pontuação a receber;

$P_{máx}$ = pontuação máxima = 10 pontos;

CP_{of} = contrapartida oferecida;

CP_{min} = contrapartida mínima = 20%;

$CP_{máx}$ = contrapartida máxima = 40%.

O resultado do cálculo acima, para o valor de P_{cp} , deverá ser arredondado para duas casas decimais.

III. Objetivo do empreendimento

- 5 pontos – ETEs; tratamento de chorume; tratamento de efluente de ETA (lodo);
- 4 pontos – coletores-tronco, emissários, elevatórias de esgoto, interceptores (transporte e afastamento) que se interliguem a uma ETE em operação;
- 3 pontos – coletores-tronco, emissários, elevatórias de esgoto, interceptores (transporte e afastamento) que se interliguem a uma ETE em construção;
- 2 pontos – coletores-tronco, emissários, elevatórias de esgoto, interceptores (transporte e afastamento) que não estejam interligados a uma ETE;

IV. Programa de Gestão Municipal dos Recursos Hídricos (para todos os candidatos)

- 5 pontos – município possui Lei Municipal sobre Política Municipal de Recursos Hídricos e o Conselho Municipal de Defesa do Meio Ambiente ou de Recursos Hídricos implantado e em operação;
- 3 pontos – município possui Lei Municipal sobre Política Municipal de Recursos Hídricos;
- 2 pontos – município possui Projeto de Lei (PL) Municipal sobre Política Municipal de Recursos Hídricos já protocolado na Câmara Municipal;
- 0 ponto – município não protocolou PL sobre Política Municipal de Recursos Hídricos na Câmara Municipal.

As pontuações acima são excludentes em relação às posteriores, ou seja, o empreendimento somente se enquadrará em uma das classificações.

V. Inclusão no PRODES

- 1 ponto – para obras que tenham sido hierarquizadas pelo PRODES/ANA/2007;
- 0 ponto – para as demais obras;

§ 1º - Para o inciso IV da pontuação referida neste Artigo, para empreendimentos que envolvam mais de um município, será considerada a média da pontuação dos municípios envolvidos.

§ 2º - Critérios de Desempate: será considerada a maior pontuação recebida nos seguintes itens:

1. objetivo do empreendimento;
2. contrapartida oferecida;
3. Programa de Gestão Municipal dos Recursos Hídricos;
4. tipo de empreendimento;
5. inclusão no PRODES;
6. possui TAC celebrado para tratamento de esgotos, em vigência;
7. sorteio.