

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**MODELO PARA DECISÕES ESTRATÉGICAS EM
ABASTECIMENTO DE ÁGUA NO AGRESTE DE
PERNAMBUCO**

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À UFPE
PARA OBTENÇÃO DE GRAU DE MESTRE
POR

GÉSSIKA MARIA GAMA CAMBRAINHA

Orientador: Prof. Marcele Elisa Fontana, DSc.

CARUARU, agosto / 2015

Catálogo na fonte:
Bibliotecária - Simone Xavier CRB/4-1242

C177m Cambrinha, Géssika Maria Gama.

Modelo para decisões estratégicas em abastecimento de água no agreste de Pernambuco. / Géssika Maria Gama Cambrinha. - Caruaru: O Autor, 2015.
77f. : il. ; 30 cm.

Orientadora: Marcele Elisa Fontana.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco, CAA, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, 2015.

Inclui referências bibliográficas

1. Água – Abastecimento – Agreste (PE). 2. Oferta e demanda. 3. Estratégia. 4. PROMETHEE. I. Fontana, Marcele Elisa (Orientadora). II. Título

658.5 CDD (23. ed.)

UFPE (CAA 2015-137)



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

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

GÉSSIKA MARIA GAMA CAMBRAINHA

“Modelo para Decisões Estratégicas em Abastecimento de Água no Agreste de Pernambuco”

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: OTIMIZAÇÃO E GESTÃO DA PRODUÇÃO

A comissão examinadora composta pelos professores abaixo, sob a presidência do(a) primeiro(a), considera a candidata **GÉSSIKA MARIA GAMA CAMBRAINHA aprovada.**

Caruaru, 02 de julho de 2015.

Prof.^a MARCELE ELISA FONTANA, Doutora (UFPE)

Prof. THALLES VITELLI GARCEZ, Doutor (UFPE)

Prof.^a DANIELLE COSTA MORAIS, Doutora (UFPE)

Aonde o rio chegar, todos os animais que ali se movem poderão viver. Haverá peixes em quantidade, pois ali desembocam as águas que trazem saúde; e haverá vida aonde chegar o rio.

Ezequiel 47, 9

AGRADECIMENTOS

À Deus.

À minha família.

Às nerdas e Victor.

À Marcele e todos os outros professores.

À Coordenação do Programa e à UFPE.

À Capes.

À Compesa.

RESUMO

A água é um recurso limitado, porém, fundamental para a sobrevivência dos seres humanos. No Brasil, em algumas regiões, como no agreste de Pernambuco, há períodos de escassez hídrica que causam problemas afetando diferentes setores como: alimentação, energia, clima, crescimento da economia, saúde pública, entre outros. No caso do agreste, que enfrenta periodicamente tempos de escassez de água, os problemas se intensificam ainda com o aumento populacional em face do crescente desenvolvimento do comércio na região. A gestão dos recursos hídricos nessa região precisa ser planejada considerando todos os fatores externos associados ao problema. Dessa forma, as decisões nesse ambiente se caracterizam como complexas, pois as alternativas e os critérios não se apresentam tão claramente e há interesses conflitantes envolvidos. Assim, o objetivo deste trabalho é selecionar alternativas para o abastecimento de água realizando um balanço entre as estratégias de oferta e de demanda. Com isso, foi desenvolvido um modelo que auxiliasse as decisões levando em consideração o balanceamento entre oferta e demanda. Em seguida, foi realizada a aplicação numérica desse modelo no contexto do agreste de Pernambuco. Os resultados evidenciaram a necessidade de uma melhor distribuição de investimentos para a solução de problemas de longo prazo na região estudada.

Palavras Chave: Planejamento de Sistemas de Abastecimento de Água, Estratégias de Oferta e Demanda, SODA, PROMETHEE, seleção de portfólios.

ABSTRACT

Water is a limited resource, however, critical to the survival of human beings. Some regions in Brazil, as the Agreste of Pernambuco, there are periods of water shortages causing problems that affect different sectors such as food, energy, climate, economic growth, public health, among others. In the case of Agreste, which periodically faces water scarcity times, the problems are even intensify with population growth in the face of growing development of business in the region. The management of water resources in this region must be planned taking into account all the external factors associated with the problem. Thus, decisions in this environment are characterized as complex, because the alternatives and criteria are not presented as clearly and there are conflicting interests involved. The objective of this work is to select alternatives for water supply realizing a balance between supply and demand strategies. Thus, it developed a model that would help decisions taking into account the balance between supply and demand. It then carried the numerical application of this model in the harsh context of Pernambuco. The results showed the need for a better distribution of investments for the long-term problem solving in the region studied.

Keywords: Water Supply Systems Plan, Supply and Demand Strategy, SODA, PROMETHEE, portfolio selection.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	OBJETIVOS DO TRABALHO	3
1.2	JUSTIFICATIVA	3
1.3	METODOLOGIA.....	5
1.4	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	6
2	BASE CONCEITUAL E REVISÃO DA LITERATURA.....	7
2.1	ABASTECIMENTO DE ÁGUA E SEUS IMPACTOS	7
2.1.1	<i>Sistemas de Abastecimento de Água (SAA)</i>	7
2.1.2	<i>Impactos ambientais em um SAA</i>	9
2.2	ESTRATÉGIAS DE GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS.....	11
2.2.1	<i>Modelos desenvolvidos para Gestão de Recursos Hídricos</i>	12
2.2.1.1	Modelo genérico para gestão dos recursos hídricos em um ambiente de mudanças climáticas.....	12
2.2.1.2	Modelo para gestão dos recursos hídricos em regiões semiáridas.....	15
2.2.1.3	Modelo para gestão de bacias hidrográficas	16
2.2.1.4	Modelo para decisão em recursos hídricos baseado na análise de classificações individuais	17
2.2.1.5	Modelo de classificação para tomada de decisão no gerenciamento de perdas de água.....	19
2.2.1.6	Modelos de decisão para reabilitação de redes de água.....	20
2.2.2	<i>Análise dos modelos</i>	23
2.3	ESTRUTURAÇÃO DE PROBLEMAS.....	24
2.3.1	<i>SSM - Soft Systems Methodology</i>	25
2.3.2	<i>SCA - Strategic Choice Approach</i>	26
2.3.3	<i>SODA - Strategic Options Development and Analysis</i>	27
2.3.3.1	Mapas Cognitivos	28
2.4	MÉTODOS DE APOIO À DECISÃO MULTICRITÉRIO	30
2.4.1	<i>Os métodos PROMETHEE</i>	32
2.5	CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE O CAPÍTULO	36
3	MODELO PARA DECISÕES EM ABASTECIMENTO DE ÁGUA	37
3.1	O PROCESSO DE DECISÃO ATUAL DA CONCESSIONÁRIA.....	37
3.2	ETAPAS DO MODELO PROPOSTO	39
3.2.1	<i>ETAPA 1 – Reunião de informações</i>	41
	- Levantamento de dados e diagnóstico da situação.....	41
	- Identificação dos atores do processo.....	41
3.2.2	<i>ETAPA 2 – Estruturação do Problema - SODA</i>	42
	- Rotulação do problema	42
	- Proposição das alternativas	42

	- <i>Definição dos critérios</i>	43
	- <i>Modelagem do problema</i>	43
3.2.3	ETAPA 3 – Tomada de decisão	44
	- <i>Filtro</i>	44
	- <i>PROMETHEE II</i>	44
	- <i>PROMETHEE V</i>	45
	- <i>Análise dos resultados</i>	45
	- <i>Análise de sensibilidade</i>	45
	- <i>Feedback</i>	45
3.3	CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE O CAPÍTULO	45
4	APLICAÇÃO DO MODELO EM UM CASO NO AGRESTE DE PERNAMBUCO	47
4.1	ETAPAS DA APLICAÇÃO DO MODELO	47
4.1.1	ETAPA 1 – Reunião de informações	47
	- <i>Levantamento de dados e diagnóstico da situação</i>	47
	- <i>Identificação dos atores do processo</i>	48
4.1.2	ETAPA 2 – Estruturação do Problema	49
	- <i>Rotulação do problema</i>	49
	- <i>Proposição das alternativas</i>	49
	- <i>Definição dos critérios</i>	51
	- <i>Modelagem do problema</i>	53
4.1.3	ETAPA 3 – Tomada de decisão	54
	- <i>Filtro</i>	54
	- <i>PROMETHEE II</i>	55
	- <i>PROMETHEE V</i>	56
	- <i>Análise dos resultados</i>	57
	- <i>Análise de sensibilidade</i>	58
4.2	CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE O CAPÍTULO	59
5	CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	60
5.1	CONCLUSÕES	60
5.2	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	62
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	63

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 2.1 – Esquema de um SAA.....</i>	<i>8</i>
<i>Figura 2.2 – Ciclo de vida da água.....</i>	<i>10</i>
<i>Figura 2.3 – Sistema de gestão da água.....</i>	<i>12</i>
<i>Figura 2.4 – Árvore de critérios genérica do MCA4Climate.....</i>	<i>15</i>
<i>Figura 2.5 – Modelo de estruturação de problemas complexos para bacias hidrográficas.....</i>	<i>17</i>
<i>Figura 2.6 – Modelo para decisão em recursos hídricos baseado na análise de classificações individuais.....</i>	<i>18</i>
<i>Figura 2.7 – Fluxograma do modelo de classificação para decisão em grupo.....</i>	<i>20</i>
<i>Figura 2.8 – Modelo proposto usando Promethee V.....</i>	<i>21</i>
<i>Figura 2.9 – Visão global do modelo.....</i>	<i>22</i>
<i>Figura 2.10 – Representação dos sete estágios da SSM.....</i>	<i>25</i>
<i>Figura 2.11 – A dinâmica da escolha estratégica.....</i>	<i>26</i>
<i>Figura 2.12 – Perspectivas-guias do SODA.....</i>	<i>27</i>
<i>Figura 2.13 – Exemplo de mapa cognitivo.....</i>	<i>28</i>
<i>Figura 2.14 – Critérios gerais para o PROMETHEE.....</i>	<i>33</i>
<i>Figura 3.1 – Processo de decisão atual da companhia.....</i>	<i>37</i>
<i>Figura 3.2 – Modelo para decisões estratégicas em abastecimento.....</i>	<i>40</i>
<i>Figura 4.1 – Mapa cognitivo do grupo - OFERTA.....</i>	<i>50</i>
<i>Figura 4.2 – Mapa cognitivo do grupo - DEMANDA.....</i>	<i>50</i>
<i>Figura 4.3 – Resultado da avaliação global.....</i>	<i>56</i>

LISTA DE QUADROS E TABELAS

<i>Quadro 2.1 – Objetivos de um SAA</i>	9
<i>Quadro 2.2 – Alternativas para melhoria da gestão da água</i>	13
<i>Quadro 2.3 – Análise dos modelos para recursos hídricos</i>	23
<i>Quadro 3.1 – Critérios atuais para escolha de alternativas de abastecimento de água no Agreste</i>	38
<i>Tabela 4.1 – Dados das Barragens do Prata e Jucazinho</i>	48
<i>Quadro 4.2 – Alternativas do problema</i>	51
<i>Quadro 4.3 – Critérios para julgamento das alternativas do problema</i>	52
<i>Quadro 4.4 – Escala de avaliação para Benefício Social (C₃)</i>	53
<i>Quadro 4.5 – Escala de avaliação para Viabilidade (C₅)</i>	53
<i>Tabela 4.6 – Matriz de consequências</i>	53
<i>Tabela 4.7 – Matriz de consequências após filtro das alternativas</i>	54
<i>Tabela 4.8 – Matriz de consequências após filtro dos critérios</i>	55
<i>Tabela 4.9 – Parâmetros do modelo</i>	55
<i>Tabela 4.10 – Resultado com pesos +5% e -5%</i>	58
<i>Tabela 4.11 – Resultado com pesos igualados em 2%</i>	59

1 INTRODUÇÃO

A água é um recurso de uso público e de fundamental importância na vida de todos. Mesmo sendo um recurso tido pelo senso comum como abundante no mundo, a água em condições de uso pela população é, na verdade, escassa e a depender da região o acesso a esse recurso pode ser precário. Isso porque, o aumento dos níveis das fontes de água utilizadas para abastecimento público depende estritamente da precipitação das chuvas, que ocorrem de maneira desigual geográfica e periodicamente.

Considerando que os eventos climáticos no planeta não podem ser controlados, os recursos hídricos precisam ser geridos de forma que o abastecimento de água esteja adaptado às mudanças que venham a ocorrer no ambiente. Faz-se necessário, então, a realização de um planejamento estratégico para uso da água, de maneira que demanda por água esteja preparada para as possíveis variações na oferta.

Em contrapartida, o crescimento populacional, em algumas regiões, leva, também, ao crescimento da necessidade eminente do uso de água no dia-a-dia para atividades que estão diretamente ligadas à saúde pública (SCARATTI *et. al.*, 2012). Além disso, o problema da disponibilidade de recursos hídricos está conectado a outros importantes problemas como alimentação, energia, clima e crescimento da economia (WANG *et. al.*, 2014).

O Agreste Pernambucano é uma região que apresenta índices positivos de crescimento econômico para o estado devido às atividades de comércio e serviços associadas aos centros urbanos dinâmicos (IBGE, 2010). No entanto, a água nesse contexto se apresenta como um dos elementos limitantes no processo de ocupação e desenvolvimento da região. O crescimento populacional e a implantação de diversos tipos de indústrias no local têm causado um aumento na demanda de água. Outros aspectos que agravam a dificuldade do abastecimento de água, são o alto índice de perdas e má gestão dos investimentos destinados ao saneamento (CAMBRAINHA & FONTANA, 2015).

O abastecimento da população deve, então, ocorrer em concordância com a disponibilidade dos mananciais. De tal modo, os responsáveis pela gestão dos recursos hídricos enfrentam o problema de satisfazer a necessidade da população por água e, ao mesmo tempo, controlar os níveis dos mananciais de forma que eles possam manter uma capacidade suficiente para sustentar o abastecimento no futuro. O problema assinala-se, assim, como uma decisão estratégica entre a oferta e a demanda de água (WANG *et. al.*, 2014).

Além disso, as questões relacionadas ao abastecimento de água envolvem diferentes atores em todos os níveis governamentais, juntamente com as organizações da sociedade (SOUZA FILHO & PORTO, 2003). A influência desses diferentes atores é absorvida pela companhia responsável pela gestão dos recursos hídricos da região de modo que as decisões são tomadas, muitas vezes, forçadas por pressões externas. Desta forma, ao tomar decisões sobre abastecimento, os gestores devem conseguir integrar interesses individuais e coletivos de diversas áreas (SEGRAVE *et. al.*, 2014). Segundo Levino & Morais (2010),

“A gestão da água envolve um ambiente vastamente complexo e cheio de incertezas, devido aos múltiplos usos dos recursos hídricos e o grande número de atores envolvidos no processo decisório. Além disso, nesse tipo de processo, os sistemas de valores dos decisores devem ser levados em consideração”.

Sendo assim, a solução para decisões desse tipo deve ser capaz de abranger amplamente todos os fatores decorrentes das características do ambiente, além das preferências de todos os decisores envolvidos. Para esse tipo de problema os métodos de apoio à decisão multicritério (*Multiple Criteria Decision Analysis – MCDA*) se mostram adequados, pois tem como princípio buscar o estabelecimento de uma relação de preferência entre alternativas que estão sendo avaliadas sob a influência de vários critérios no processo de decisão (ALMEIDA, 2013).

No entanto, é importante para a resolução de qualquer problema que seja realizado um procedimento de estruturação, independentemente do seu nível de complexidade (BELTON & STEWART, 2002). Dessa maneira, é necessário estruturar o problema para que todas as relações sejam mais bem compreendidas pelos envolvidos no processo de decisão, principalmente em problemas complexos (ALMEIDA *et. al.*, 2012).

Diante do que foi apresentado, vê-se a necessidade de estudar o problema de abastecimento de água na região agreste de Pernambuco em períodos de estiagem, de forma que este recurso seja distribuído observando-se as limitações tanto por parte da oferta de água, quanto da demanda pelo consumo desse bem. Considerando a complexidade do problema, é imperativo realizar inicialmente uma estruturação, orientada por um procedimento formal, e, tendo o problema já estruturado, o processo de decisão pode ocorrer com o auxílio de métodos de apoio à decisão multicritério, a fim de apoiar o decisor, ou grupo de decisores.

1.1 Objetivos do Trabalho

O principal objetivo deste trabalho é selecionar alternativas para o abastecimento de água no Agreste Central de Pernambuco utilizando uma estratégia de balanceamento entre oferta e demanda. Este trabalho propõe, além disso, a aplicação numérica do modelo no contexto proposto.

Para tanto, os seguintes objetivos secundários devem ser alcançados:

- Avaliar as atividades de tomada de decisão quanto ao abastecimento de água;
- Identificar os aspectos do problema já relatados na literatura;
- Compreender o processo de tomada de decisão atual para abastecimento de água e o posicionamento estratégico quanto à gestão dos recursos hídricos;
- Desenvolver um modelo para tomada de decisão no setor de abastecimento de água no agreste de Pernambuco;
- Realizar a aplicação do modelo e relatar os resultados obtidos.

1.2 Justificativa

Considerando a dependência do uso da água por diferentes ecossistemas e, sobretudo pelos seres humanos, a água tem influência direta na sobrevivência de várias espécies de seres vivos. A preservação desse recurso é, pois, essencial para a vida na terra. Portanto, esta pesquisa torna-se relevante por objetivar o melhor aproveitamento desse recurso natural, através de um planejamento com bases em uma estratégia de oferta e demanda.

Pesquisas desse cunho tendem a promover o uso eficiente e mais ambientalmente responsável da água. Do ponto de vista prático, ao tratar de um problema relacionado ao planejamento do abastecimento de um sistema de água, esta pesquisa se justifica principalmente pelo benefício gerado a população do Agreste de Pernambuco com a aplicação racional desse recurso no longo prazo.

A Mesorregião do Agreste Pernambucano ocupa cerca de um quarto do território do Estado, onde se acomoda, também, um quarto da população. Esta mesorregião possui características geograficamente desfavoráveis para o abastecimento de água, por ficar situada no semiárido nordestino. Em regiões assim, no geral, tem-se solos rasos e uma grande rede de rios temporários somada a uma alta variabilidade climática, que provoca eventos extremos de seca (CIRILO, 2008; CIRILO *et. al.*, 2010; SOUZA FILHO & PORTO, 2003).

Dessa forma, em tempos de estiagem o abastecimento é frequentemente reduzido através das políticas de racionamento (URTIGA *et. al.*, 2013). Somado a esses fatores tem-se ainda a questão agravante das mudanças climáticas que se apresenta como mais um desafio no gerenciamento dos recursos hídricos (SOUZA FILHO & PORTO, 2003; WANG *et. al.*, 2014; MAY & VINHA, 2012).

As pesquisas na área de adaptação da demanda de água aos impactos das mudanças climáticas são ainda muito limitadas (WANG *et. al.*, 2014). Os estudos nessa área buscam aprimorar a resiliência dos sistemas de abastecimento diante de diferentes cenários. A preocupação está, sobretudo em manter um abastecimento satisfatório para a coletividade, mesmo em situações de estiagem, ou por outro lado, amenizar as consequências de possíveis inundações em períodos de grandes precipitações.

A questão da alocação da água em períodos de escassez é tida como uma das mais relevantes no contexto do nordeste brasileiro (MAY & VINHA, 2012). Os trabalhos desenvolvidos com este intuito têm focado no uso de informações climáticas e métodos de previsão meteorológica para amparar o processo de decisão. Essas pesquisas, no entanto, focam em soluções operacionais e rotineiras. Internacionalmente, Miller & Belton (2014) publicaram um estudo que apresenta uma estrutura genérica para a adaptação dos sistemas de abastecimento de água às mudanças climáticas.

Para a região Nordeste, foram desenvolvidos alguns trabalhos voltados para o mesmo tema, tais como: Morais & Almeida, 2007; Fontana & Morais, 2013; Urtiga *et. al.*, 2013; Fontana *et. al.*, 2011; Silva *et. al.*, 2010; Levino & Morais, 2010 e 2012; Souza Filho *et. al.*, 2003. Estes trabalhos têm preocupações distintas que atingem desde uma escala política de negociação de conflitos, a uma escala operacional da gestão dos recursos hídricos. No entanto, essa área de pesquisas necessita de estudos com uma melhor descrição de como as decisões são tomadas, do ponto de vista estratégico e a estruturação para o apoio às decisões no âmbito das decisões internas na empresa gestora da água.

Há um interesse eminente da gestão da empresa em elaborar um procedimento formal para a tomada de decisão. O processo de tomada de decisão exercido pela empresa gestora na região do Agreste de Pernambuco não segue nenhum padrão específico, o que dificulta o esclarecimento e justificativa das decisões tomadas. É necessário a criação de um modelo para que haja um respaldo contra as pressões exercidas por poderes políticos e pela sociedade.

Desse modo, o presente estudo se justifica por trazer uma complementação aos trabalhos já realizados na área, ao realizar uma aplicação em um estudo de caso, num ambiente real, direcionada no desenvolvimento de estratégias que busquem o balanceamento de oferta e demanda. Além disso, tem como base uma abordagem de estruturação de problemas, focando no processo de decisão dentro da gestão corporativa de uma concessionária de recursos hídricos. Isto porque, a estruturação de problemas complexos, onde as alternativas e os critérios não se apresentam tão claramente – como é o caso do abastecimento de água – exige um procedimento de estruturação mais bem definido, como dito também por Belton & Stewart (2002).

1.3 Metodologia

Esta pesquisa pode ser classificada como descritiva e exploratória. Caracteriza-se como exploratória, pois é um estudo realizado com a finalidade de conhecer inicialmente o problema, lançando as bases para estudos posteriores. Como descritiva, caracteriza-se porque, a estruturação do problema em si resulta em uma descrição dos fatos, fundamentada nos relatos dos entrevistados (VERGARA, 1997; GIL, 1999).

Além disso, a pesquisa pode ser considerada também como qualitativa, pois se busca com ela entender a forma como as pessoas constroem os significados que têm do mundo, ou, neste caso específico, da organização da qual fazem parte. Outro aspecto que a categoriza como qualitativa é que o foco principal não está em seus resultados, mas no processo de pesquisa (GODOY, 1995; BOGDAN; BIKLEN, 1994; MERRIAM, 1998).

A pesquisa se desenvolverá em quatro etapas: (1) pesquisa bibliográfica; (2) coleta de dados; (3) desenvolvimento do modelo; e (4) aplicação. Inicialmente a pesquisa bibliográfica busca reunir informações referentes ao contexto estudado ao fazer uma revisão da literatura sobre o assunto, para, com isso, relatar as particularidades do setor de abastecimento de água e fazer uma revisão sobre os avanços desenvolvidos na área de métodos de apoio à decisão para esse setor.

A coleta de dados ocorrerá em dois momentos. Em primeiro lugar a coleta de dados apoiará o desenvolvimento do modelo. Após a reunião de todas as informações necessárias, sobre o contexto de decisões em que será realizado o estudo, o modelo será desenvolvido, adequando-se a situação, utilizando o conhecimento dos métodos disponíveis.

Na parte posterior da pesquisa o levantamento de dados realizado servirá de fomento para a elaboração da estruturação do problema. Nessa etapa será realizado um *workshop* inicial com os atores do processo identificados para esse trabalho, nas quais os mesmos são estimulados a expressar suas opiniões sobre o problema. Em seguida, será coletado individualmente o julgamento do decisor, ou decisores.

Por fim, o modelo será aplicado numericamente no contexto estudado. A partir da aplicação, os resultados poderão ser observados sobre o modelo proposto. Por ser essa aplicação realizada em um objeto de estudo específico, esta pesquisa pode, assim, ser classificada também, do ponto de vista estratégico, como um Estudo de Caso. O Estudo de Caso permite um conhecimento amplo e detalhado do caso, ou dos casos, estudados de forma empírica e abrangente, que preserva as características holísticas de um fenômeno e o analisa dentro de seu contexto (YIN, 2005).

1.4 Estrutura da Dissertação

A estrutura do presente trabalho se divide em cinco capítulos, incluindo a presente introdução, onde foram apresentados os objetivos do trabalho e suas justificativas, além dos métodos de pesquisa aqui utilizados. No Capítulo 2 é apresentada uma revisão da literatura acerca dos principais temas tratados pelo trabalho: impactos da relação entre o abastecimento de água e o meio ambiente; métodos de estruturação de problemas; e métodos de apoio a decisão multicritério. Bem como, são também apresentados os modelos encontrados já desenvolvidos para o contexto estudado. Todos os temas apresentados são importantes para formar o arcabouço teórico no qual este estudo se baseia.

Em seguida, o Capítulo 3, apresenta o contexto da tomada de decisão em abastecimento de água no Agreste de Pernambuco e propõe a aplicação do modelo através da explicação de cada uma das suas etapas.

O 4º Capítulo, mostra a aplicação do modelo proposto realizada em um caso realístico no Agreste de Pernambuco. São relatadas todas as etapas e a forma como foram realizadas junto à empresa gestora.

Por fim, no Capítulo 5 têm-se as conclusões e críticas sobre o estudo juntamente com as limitações encontradas na elaboração do trabalho. Além disso, são apresentadas algumas sugestões para trabalhos futuros.

2 BASE CONCEITUAL E REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo serão apresentados todos os conceitos que formam a base conceitual deste trabalho, assim como uma revisão das discussões mais recentes sobre os temas abordados na literatura. De início serão abordados os Sistemas de Abastecimento de Água (SAA) e como estes causam impactos e são afetados por meio dos impactos causados a eles através das mudanças no meio ambiente. Em seguida são apresentados alguns modelos já desenvolvidos para a gestão dos recursos hídricos. Por fim, serão tratados os conceitos básicos dos Métodos de Estruturação de Problemas e de Decisão Multicritério.

2.1 Abastecimento de Água e seus Impactos

A água é um elemento essencial para a vida humana. O uso da água pelos seres humanos é distribuído principalmente entre a agropecuária, a indústria, o uso doméstico e os ecossistemas, sendo o primeiro o maior consumidor desse recurso. Em consequência do crescimento da população no mundo, o consumo de recursos hídricos aumenta rapidamente, podendo chegar a valores preocupantes no futuro recente (WANG *et. al.*, 2014).

Em contrapartida, as potenciais fontes de água são limitadas e a renovação das reservas de água se dá lentamente, através do ciclo hidrológico¹. Sendo assim, o clima se configura como um dos principais fatores que afetam a disponibilidade hídrica em uma localidade. A variação entre a frequência e intensidade da precipitação de chuvas tem um impacto direto com o abastecimento de água de cada região.

Para pensar sobre qualquer estratégia de gestão dos recursos hídricos é necessária uma compreensão do funcionamento dos sistemas de abastecimento de água (SAA), explicados melhor em seguida.

2.1.1 Sistemas de Abastecimento de Água (SAA)

Um sistema de abastecimento de água que pode ser definido como o conjunto de obras, equipamentos e instalações que são destinados a produzir e distribuir água para o uso da

¹ O ciclo hidrológico é o movimento contínuo da água presente no planeta através dos oceanos, continentes e da atmosfera. O ciclo inicia-se pela precipitação da água (presente na atmosfera) no solo, seguida pelo escoamento superficial ou pela infiltração dessa água na superfície e, por fim a água é evaporada, voltando para a atmosfera (CARVALHO & SILVA, 2006).

coletividade (Figura 2.1). O SAA caracteriza-se pela captação de água na natureza, adequação de sua qualidade ao padrão potável, transporte e fornecimento à população em quantidade compatível com suas necessidades (BRASIL, 2006).

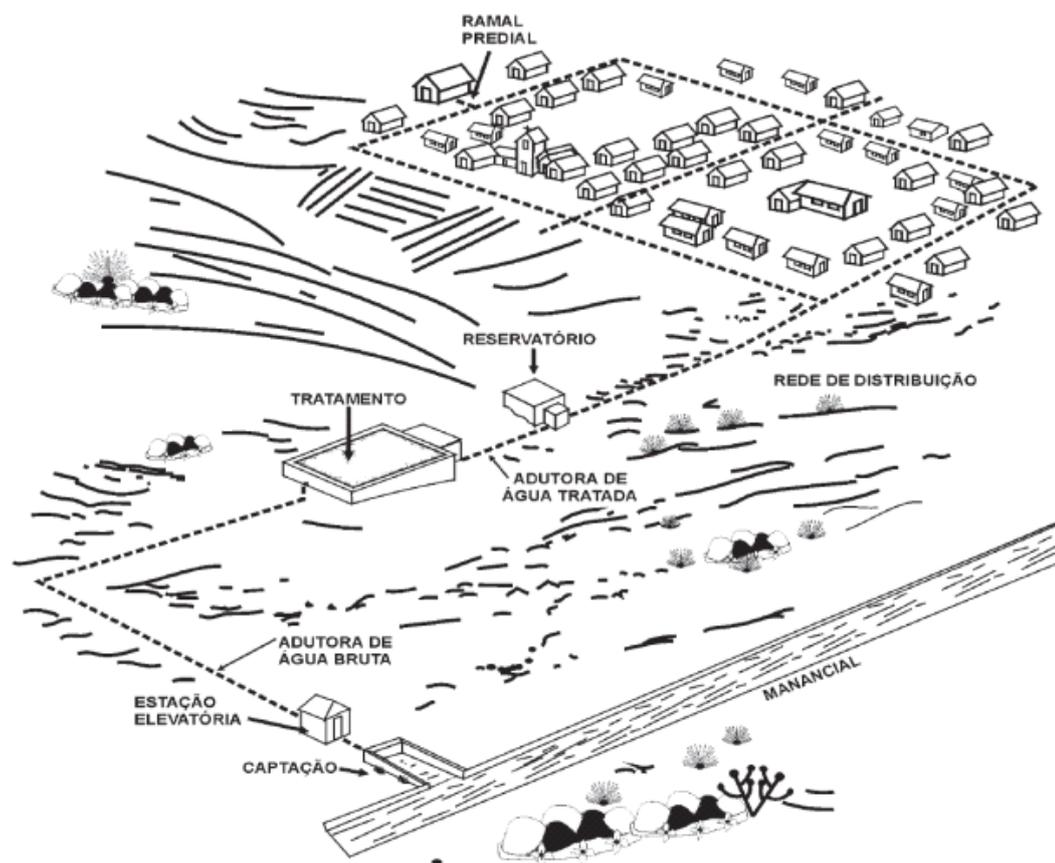


Figura 2.1 – Esquema de um SAA

Fonte: BRASIL, 2006.

Segundo o Manual de Saneamento, elaborado pelo Ministério da Saúde do Brasil (2006), o sistema de abastecimento é constituído pelas seguintes partes: Manancial; Captação; Adução; Tratamento; Reservação; Distribuição. O manancial é a fonte de onde a água é extraída para o abastecimento. A escolha de um manancial leva em consideração não só a qualidade e a quantidade de água disponível, mas também aspectos econômicos dos custos de implantação e operação do SAA. Outros fatores são o consumo atual provável, bem como a previsão de crescimento da comunidade e a capacidade ou não de o manancial satisfazer a este consumo.

Ainda conforme o manual, a captação é o conjunto de estrutura instalada e equipamentos para a extração de água do manancial. A adução é composta pela rede de

tubulações e peças dispostas no caminho que fazem o transporte da água entre as unidades do sistema. O tratamento é realizado em uma estação de tratamento de água (ETA) e consiste na transformação das características físicas, químicas e biológicas da água para que ela se torne adequada para o consumo.

A reservação é acumulação da água em reservatórios com o objetivo de responder as variações de vazão ao longo do dia, controlar a pressão da água nas redes de distribuição, manter a continuidade do abastecimento e garantir uma reserva em casos de incêndios. A rede de distribuição é o conjunto de tubulações e peças especiais utilizados para conduzir a água continuamente até os usuários finais do sistema (BRASIL, 2006).

O uso de um SAA no controle, coleta e distribuição da água para a coletividade é fundamental, devido a importância desse recurso. Sem a existência de um SAA, o abastecimento seria realizado de forma individual. O quadro 2.1 apresenta os principais objetivos que se procura atingir com a implantação de um SAA.

Quadro 2.1 – Objetivos de um SAA

Aspectos sanitário e social	Controlar e prevenir doenças.
	Implantar hábitos higiênicos na população como, por exemplo, a lavagem das mãos, o banho e a limpeza de utensílios e higiene do ambiente.
	Facilitar a limpeza pública.
	Facilitar as práticas desportivas.
	Propiciar conforto, bem-estar e segurança.
Aspectos econômicos	Aumentar a esperança de vida da população.
	Aumentar a vida média pela redução da mortalidade.
	Aumentar a vida produtiva do indivíduo, por meio do aumento da vida média ou pela redução do tempo perdido com doença.
	Facilitar a instalação de indústrias, inclusive a de turismo, e conseqüentemente ao maior progresso das comunidades.
	Facilitar o combate a incêndios.
	Mais fácil proteger o manancial.
	Mais fácil supervisionar o sistema do que fazer supervisão de grande número de mananciais e sistemas.
Mais fácil controlar a qualidade da água consumida.	
Redução de recursos humanos e financeiros (economia de escala).	

Fonte: Brasil, 2006.

2.1.2 Impactos ambientais em um SAA

De maneira geral, os impactos da implantação e da utilização de um Sistema de Abastecimento de Água vão variar a depender das características onde o SAA será implantado. Além disso, os aspectos ambientais associados a um SAA nas fases de implantação e funcionamento estão mais associados às alterações no solo e na biodiversidade, o uso de energia e ao uso e posterior descarte da água ao longo do sistema (HERSTEIN *et. al.*,

2008). O tratamento, por exemplo, é uma das etapas mais agressivas ao meio ambiente, devido à aplicação de produtos químicos para adequação das características da água aos padrões e ao descarte da água nos processos de limpeza das instalações da ETA (CAMBRAINHA *et. al.*, 2014).

Na literatura, a avaliação desses impactos é comumente realizada através de estudos ambientais que utilizam uma abordagem de Análise de Ciclo de Vida (ACV), algumas vezes sendo combinada com outras abordagens. Essa análise busca quantificar o impacto ambiental provocado pelo SAA em cada fase da “vida” do sistema (extração, processamento, uso e descarte), através da definição de índices de poluição, extração de recursos e impacto ambiental (COUSINS & NEWELL, 2015; HERSTEIN *et. al.*, 2008).

Na Figura 2.2 tem-se um exemplo de como ocorre o ciclo de vida da água dentro do SAA. Porém em alguns contextos, como no agreste pernambucano, por exemplo, a água não chega a ser reciclada e após o uso é apenas descartada diretamente no manancial (CAMBRAINHA *et. al.*, 2014), provocando um impacto muito maior.

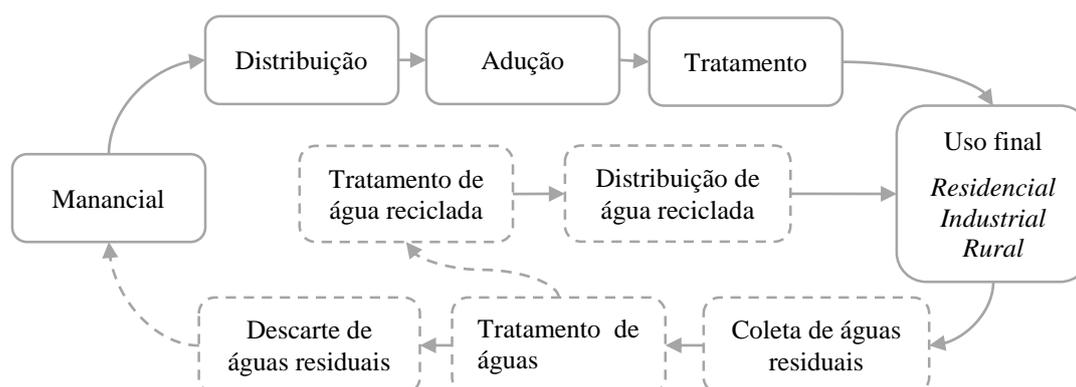


Figura 2.2 – Ciclo de vida da água

Fonte: Adaptada de Cousins & Newell, 2015.

Sendo assim, as estratégias desenvolvidas para os SAA's devem ser capazes de incorporar a incerteza sobre a oferta de água, bem como, controlar os impactos ambientais consequentes da execução de ações, além de mitigar os impactos decorrentes das mudanças climáticas. A seguir, serão detalhadas as estratégias de gestão da água.

2.2 Estratégias de Gestão dos Recursos Hídricos

A depender do estilo de gestão da instituição responsável pelo abastecimento de água um posicionamento deve ser adotado para gerir os recursos hídricos. Wang *et. al.* (2014) sugerem três possíveis estratégias genéricas para gestão da água que podem ser classificadas da seguinte forma: gestão da rotina, gestão da demanda, gestão da oferta:

- *Gestão da rotina* corresponde a gerir a água sem observar as possíveis condições desse recurso no futuro. Essa estratégia consiste em seguir as rotinas operacionais para extração da água na natureza e distribuição para a população sem se preocupar com a disponibilidade de água no futuro. Segundo Wang *et. al.* (2014) esta é a forma menos adequada de se tratar os problemas de abastecimento de água, dada a eminente escassez desse recurso.
- *Gestão da demanda* diz respeito a todo o aparato de soluções econômicas, financeiras, administrativas, tecnológicas ou sociais para reduzir a quantidade ou qualidade de água necessária para uma atividade específica (Brooks 2006; Butler & Memon 2006; Wang *et al.* 2011; Wang *et. al.* 2012). Esta estratégia busca o uso eficiente da água em todos os setores reduzindo e reaproveitando os recursos hídricos onde é possível. No entanto, mesmo com o aumento da adoção dessa estratégia nos últimos anos (Global Water Partner 2012), a escassez ainda é uma realidade, pois as fontes de água ainda são muito limitadas.
- *Gestão da oferta* é a abordagem mais frequentemente adotada na gestão da água. O objetivo dessa estratégia é, principalmente, aumentar a quantidade de água disponível. Para isso, são tomadas ações como: mudanças nas estruturas, equipamentos, layouts e regras de operação; expansão da infraestrutura de coleta e distribuição de água.

A maneira ideal de gerir os recursos hídricos, segundo Wang *et. al.* (2012, 2014) envolveria o uso das abordagens de gestão da demanda e de gestão da oferta de forma conjunta. Esta abordagem proposta pelos autores pode ser vista na Figura 2.3. O modelo proposto tem como objetivo ser capaz de lidar melhor com as incertezas presentes no ambiente e possui uma maior adaptabilidade do que o uso de uma única estratégia. Este modelo consiste em três fases: A primeira é uma pré-análise das condições do ambiente, a segunda fase é a fase de desenvolvimento e formulação de políticas e a terceira fase é quando as medidas definidas na segunda fase são implementadas.

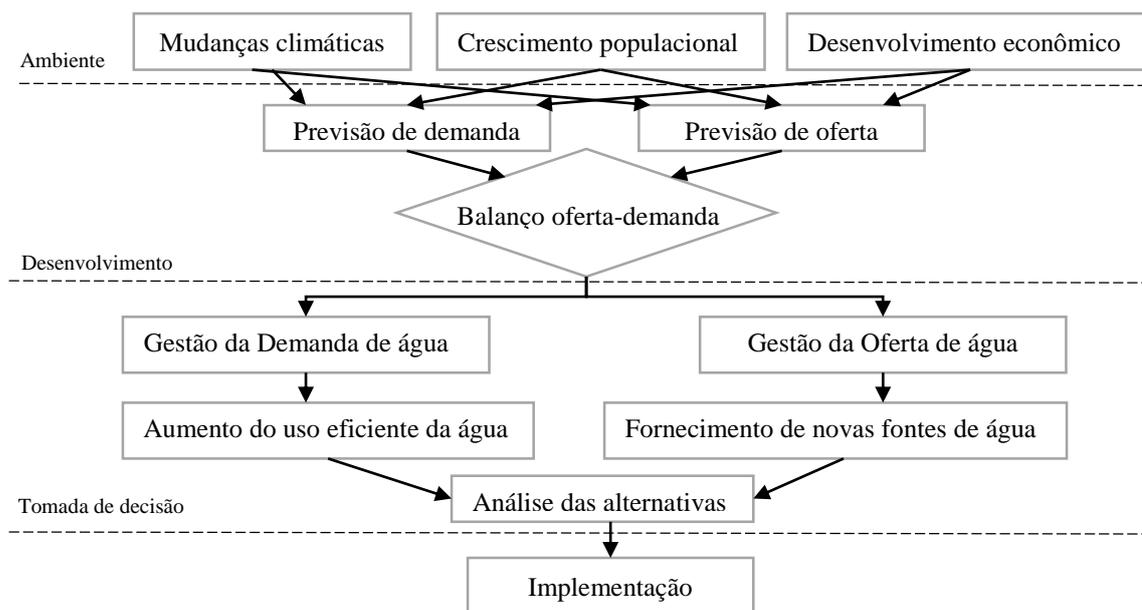


Figura 2.3 – Sistema de gestão da água

Fonte: Adaptada de Wang, 2014.

Tendo por base as informações aqui apresentadas pode-se ter um breve entendimento sobre a dimensão em que está envolvido o problema estudado, a dos recursos hídricos. Dessa forma, serão apresentados e analisados os modelos já desenvolvidos na área de gestão dos recursos hídricos.

2.2.1 Modelos desenvolvidos para Gestão de Recursos Hídricos

Nos últimos anos, a preocupação com as alterações no modo de vida das pessoas causadas pelas mudanças climáticas tem aumentado. Com isso, começou a surgir um pensamento sobre um desenvolvimento sustentável. E, nessa esfera de desenvolvimento sustentável os recursos hídricos desempenham um papel importante. Conseqüentemente, alguns modelos foram elaborados com a intenção de aprimorar a gestão desses recursos. Aqui serão apresentados alguns desses modelos.

2.2.1.1 Modelo genérico para gestão dos recursos hídricos em um ambiente de mudanças climáticas

Com o objetivo de aumentar a resiliência, ou seja, a capacidade de se restabelecer após alguma intempérie, e orientar os países na gestão das incertezas associadas às mudanças

climáticas, a Organização das Nações Unidas (ONU) tem investido em projetos que desenvolvam alternativas para os diferentes cenários que podem emergir. Um desses projetos é o MCA4Climate, que dentro do escopo de apoio a decisão multicritério, busca soluções em diversas áreas de estudo.

Quadro 2.2 – Alternativas para melhoria da gestão da água

Instrumentos regulatórios e do governo	Melhorar a documentação de direitos de água, esclarecer os limites quantitativos e temporal e definir como direitos mudarão com mudanças na disponibilidade de água.
	Criar papel legal formal para organizações comunitárias em definição, documentação e fazer cumprir direitos de água.
	Fornecer o reconhecimento explícito e execução de legal dos direitos das mulheres de possuir água e participar de fóruns políticos.
	Definir e aplicar um fluxo contínuo direitos de água (seja de propriedade privada ou pública).
	Criar fóruns regulares de bacias hidrográficas na escala de política e planejamento da água das bacias.
Instrumentos baseados no mercado	Medição do preço por volume para o uso doméstico, municipal e industrial da água.
	Retirar os subsídios em energia elétrica e combustível diesel para bombeamento de irrigação.
	Medição do preço por volume para a irrigação.
	Permitir que detentores dos direitos de água realizem a venda ou locação água para outros usuários.
Programas de investimento público	Construção de reservatórios.
	Fomentar o investimento em pequena escala de sistemas de captura de águas pluviais.
	Melhorar as águas subterrâneas ao recarregar e estabilizar os níveis dos aquíferos – por exemplo, através da construção de instalações de recarga ativas.
	Melhorar a capacidade de gerenciar fluxos de inundação potencialmente grandes – por exemplo, através da construção de projetos "sustentáveis" de controle de inundações, tais como diques de recuo e canais de by-pass de inundação (juntamente com projetos de recarga de águas subterrâneas, sempre que possível).
	Aumentar a capacidade de drenagem urbana dos sistemas de coleta de águas pluviais.
	Realocar / redesenhar a infraestrutura de tratamento de esgotos para evitar danos / mau funcionamento devido a eventos de cheia.
Instrumentos baseados em informação	Estabelecer rede de estações meteorológicas, medidores de fluxo e poços de monitoramento para gerar informação quase em tempo real sobre bacias hidrográficas / condições dos aquíferos disponíveis na internet; estabelecer rede de telefone para transmitir avisos de enchentes relâmpagos.
	Programas educacionais sobre práticas de irrigação eficientes; métodos de captura de águas pluviais, etc.
	Modelagem e mapeamento das planícies de inundação em função de uma variedade de cenários de climáticos futuros, juntamente com uma extensão educacional sobre os perigos de uma inundação.
Programas de cooperação internacional	Estabelecer programas científicos conjuntos entre nações que compartilham recursos hídricos transfronteiriços.
	Identificar a rigidez nos tratados existentes e acordos ambientais a eles respeitantes, recursos hídricos e avaliar o seu potencial consequências sob uma variedade de cenários climáticos futuros.
	Negociar com os países vizinhos planos de contingência a respeito de ações / responsabilidades esperadas de acordo com uma série de condições climáticas futuras.
	Negociar outros projetos de investimento conjunto, e detalhes sobre a repartição de benefícios.

Fonte: Adaptado de Miller, 2011.

No que diz respeito aos recursos hídricos, inicialmente foi desenvolvido por Miller (2011) para o MCA4Climate um relatório completo a respeito das melhorias na gestão da água. Neste relatório são reunidas as principais alternativas de políticas que podem ser aplicadas para a melhoria da gestão da água e são discutidas as vantagens e desvantagens de cada uma. Os exemplos citados por Miller (2011) podem ser vistos no Quadro 2.2.

É válido observar que as alternativas elencadas por Miller (2011) compreendem não só uma situação de escassez de água, mas também os casos onde a precipitação de água ocorre em excesso provocando enchentes.

Conjuntamente com este relatório, foi desenvolvido também um modelo genérico para a aplicação de métodos de apoio a decisão na escolha entre as melhores políticas a serem desenvolvidas. O modelo desenvolvido (Figura 2.4), compreende critérios em diferentes níveis:

- a. Num primeiro nível os critérios são divididos em critérios de entrada e de saída;
- b. No segundo nível os critérios de entrada dividem-se nas esferas necessidade de investimentos públicos e necessidades de implementação; e os critérios de saída dividem-se nas esferas econômica, ambiental, social e política e institucional.
- c. No terceiro nível os critérios mais básicos sugeridos são apresentados.

O modelo genérico mostrou-se eficiente ao ser aplicado, após a devida adaptação, num estudo de caso no Iêmen (MILLER & BELTON, 2014). O modelo foi aplicado em um método de apoio a decisão multicritério, considerando as alternativas e critérios do contexto encontrado nesse país, diante de dois diferentes cenários (resumidamente: baixa precipitação e elevada precipitação).

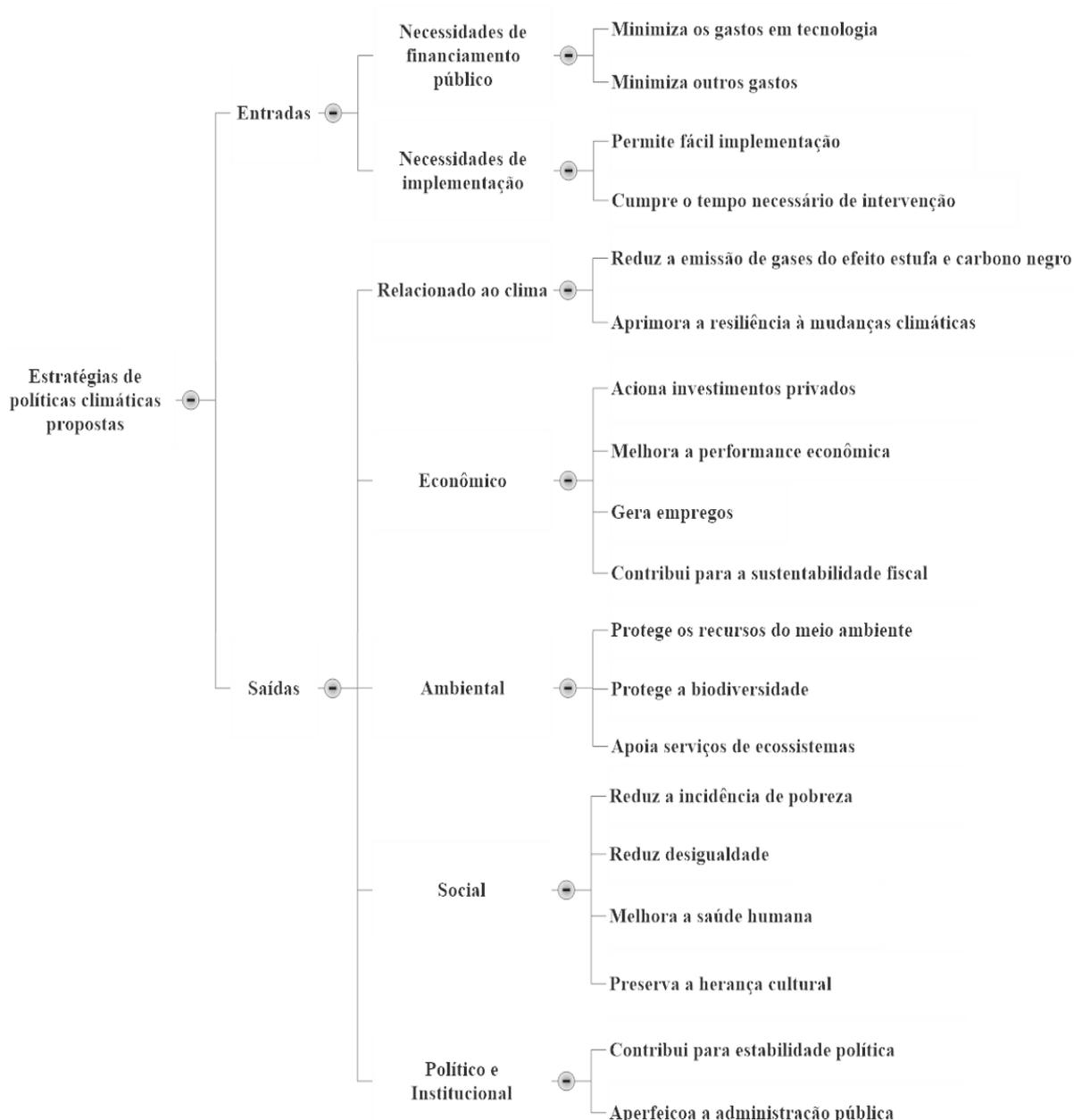


Figura 2.4 – Árvore de critérios genérica do MCA4Climate

Fonte: Adaptado de Miller & Belton. 2014.

2.2.1.2 Modelo para gestão dos recursos hídricos em regiões semiáridas

Este modelo foi desenvolvido por Urtiga *et. al.* (2013) e tem como principal foco a solução de conflitos gerados pela disputa por água em regiões onde este recurso é escasso, priorizando o uso para o abastecimento humano. Este trabalho busca, mais especificamente, lidar com a disputa entre o abastecimento público e a irrigação. Esse conflito ocorre quando o governo reduz o uso

para irrigação, em vista de abastecer a população. Em ambientes como esse, a água é, às vezes, vista como instrumento de poder, assim os detentores controlam de acordo com seus interesses.

O modelo proposto está separado em três etapas, são elas:

- Etapa 1: Estimação da quantidade de água para o abastecimento básico da população

Baseando-se em alguns estudos e na faixa apresentada pela ONU, é encontrada a quantidade mínima de água a ser destinada para o abastecimento básico da população. Utilizando informações obtidas em entrevistas com autoridades de recursos hídricos da região, juntamente com uma análise baseada em regiões com características similares é definido o valor mínimo necessário para a irrigação.

- Etapa 2: Negociação entre dois agentes econômicos

O problema, segundo os autores, pode ser entendido como um jogo de negociação com dois jogadores. Sendo assim, são utilizadas duas abordagens para a solução: *a solução de barganha de Nash* e a *solução Kalai–Smorodinsky*.

- Etapa 3: Avaliação de múltiplos critérios

Por fim, com o intuito de ampliar a discussão, são propostos alguns critérios para a análise, assim aspectos importantes não considerados nas soluções numéricas anteriores. Esses critérios podem vir a confrontar a função utilidade pelos pontos de vista social, moral ou ético.

2.2.1.3 Modelo para gestão de bacias hidrográficas

Este modelo foi desenvolvido por Levino & Morais (2010) e tem como objetivo a estruturação de problemas complexos para Comitês de Bacias Hidrográficas. Os comitês de bacias hidrográficas são organizações constituídas para o planejamento do uso da água das bacias, tendo como principal objetivo a descentralização das decisões sobre os recursos hídricos dentro da unidade de cada bacia hidrográfica.

A proposta de Levino & Morais (2010) baseia-se na metodologia *Strategic Options Development and Analysis* (SODA) e, através da utilização dos mapas cognitivos, busca esclarecer melhor os problemas que são considerados complexos devido a diversidade de usos e aos conflitos existentes entre oferta e demanda. No mais, a aplicação de uma metodologia de

estruturação de problemas proporciona um maior aprendizado e entendimento para todos os participantes do processo de decisão.

O modelo divide-se em quatro etapas, são elas:

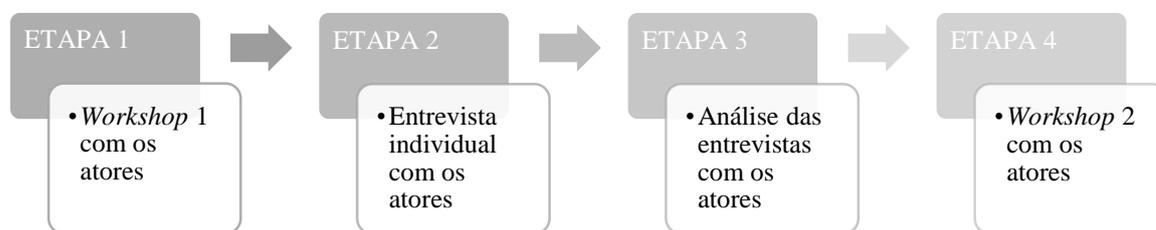


Figura 2.5 – Modelo de estruturação de problemas complexos para bacias hidrográficas
Fonte: Adaptado de Levino & Morais (2010)

Inicialmente, na primeira etapa, são identificados os atores envolvidos no processo e os mesmos são apresentados à metodologia que será aplicada no processo e em seguida é definido junto aos atores um rótulo para o problema. Na segunda etapa inicia-se a aplicação do método SODA mais propriamente com a realização de entrevistas individuais para definição dos Elementos Primários de Avaliação (EPAs), a partir dos EPAs são construídos os mapas cognitivos individuais. Em seguida, na etapa 3, os conceitos são reunidos em um mapa cognitivo agregado, que é também analisado nessa fase. Por fim, o mapa é avaliado globalmente, com a inclusão de outros aspectos que possivelmente surjam da análise inicial e após a definição dos pontos de vista fundamentais, o problema é estruturado.

2.2.1.4 Modelo para decisão em recursos hídricos baseado na análise de classificações individuais

Decisões estratégicas na área de recursos hídricos muitas vezes envolvem a participação de mais de um decisor, e existem várias maneiras possíveis de agregar as informações de diferentes atores no processo de decisão. Pensando nisso, Morais & Almeida (2012) desenvolveram um modelo para integrar os diferentes pontos de vista dos atores envolvidos no processo.

O modelo desenvolvido possibilita que cada autor analise o problema do seu próprio ponto de vista para construir uma classificação (ou *ranking*) das alternativas comum ao grupo. As classificações individuais são, então, os insumos para a aplicação do método. Em se tratando de um processo de escolha, a forma como as alternativas serão organizadas em um processo de votação é muito importante (MORAIS & ALMEIDA, 2012).

As principais prerrogativas para o modelo proposto são: as preferências individuais são transitivas; o sistema trata todos os decisores igualmente em um procedimento anônimo; e, a preferência coletiva pode ser entendida como uma agregação de várias preferências individuais sobre algumas alternativas.

A explicação do modelo será dada conforme visto na referida publicação: Após a configuração dos rankings individuais, o método divide-se em três fases de exploração: Filtro, Veto e Escolha (Figura 2.6).

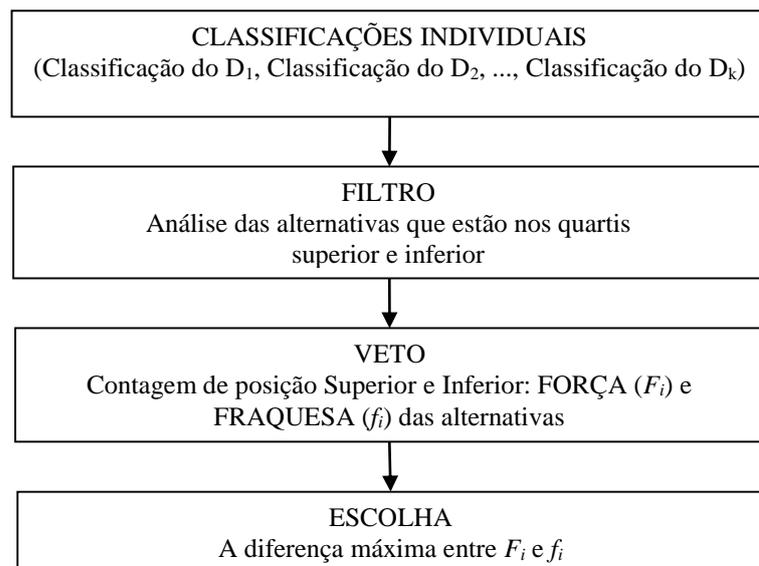


Figura 2.6 – Modelo para decisão em recursos hídricos baseado na análise de classificações individuais.
Fonte: Adaptado de Moraes & Almeida (2012)

A fase de filtro consiste em criar dois conjuntos de alternativas consideradas como de ordens superior e inferior. Para isso, é feita uma separação por quartis, na qual no primeiro quartil estão as melhores alternativas e no quarto quartil as piores, teoricamente. O objetivo da fase de filtro é eliminar as alternativas irrelevantes para reduzir o esforço.

Na fase de veto é realizada uma contagem posicional das alternativas baseada no método de Borda. Assim, é atribuído um valor correspondente para cada posição do ranking de modo que um ponto é adicionado sempre que se vai de uma posição para uma maior. Consequentemente, a alternativa que obtiver o maior somatório na pontuação é a vencedora. Porém, diferentemente do método de Borda, no modelo proposto, como se quer apenas analisar a situação das alternativas, é dada uma pontuação para cada posição da avaliação e a pontuação de cada alternativa representa a Força da Alternativa (F_i).

Dessa maneira, para se obter a pontuação das alternativas do quartil inferior, é feito o inverso, os maiores pontos são dados às piores alternativas, assim é garantido que a alternativa

mais fraca tenha uma pontuação maior. A soma dos pontos dessas alternativas representa, então, a Fraqueza da Alternativa (f_i).

Com isso, é observado se a intensidade da discordância é suficiente para rejeitar a alternativa, ou seja, se $f_i > F_i$ a alternativa deve ser eliminada. Apenas após passar pelo veto, se pode afirmar que uma alternativa considerada boa, é considerada boa por todos os decisores. Por fim, a última fase refere-se à escolha da alternativa. A alternativa que tem a maior quantidade de pontos (α_i) é a que deve ser selecionada. Essa análise é feita através da expressão: $\alpha_i = F_i - f_i$.

Este modelo foi aplicado em uma situação real no contexto da tomada de decisão dentro de um comitê de bacia hidrográfica para solucionar um problema complexo quanto ao controle da degradação do Rio Jaboaão. Os resultados apontaram que a utilização do modelo permitiu uma investigação de todas as possibilidades em concordância com os diferentes aspectos da situação. Por se tratar de um esquema de contagem de votos, foi percebido com a aplicação que o procedimento se torna mais transparente e aceitável pelos decisores.

2.2.1.5 Modelo de classificação para tomada de decisão no gerenciamento de perdas de água

As perdas de água em sistemas de abastecimento são um problema que se apresentam em diversas companhias. Os maiores índices de perda aparecem nos sistemas de distribuição. As causas para esses altos índices vão desde falhas na escolha e controle dos materiais utilizados, a intermitência do suprimento, as altas pressões nas tubulações, até a falta de setorização na rede.

Morais *et. al.* (2014), consideram que é essencial manter um plano de manutenção adequado para lidar com o problema das perdas. Pensando nisso, os autores desenvolveram um modelo para classificar as áreas das redes que representam zonas críticas para a ocorrência de perdas de água levando em consideração as características dos sistemas do ponto de vista dos especialistas.

O modelo baseia-se na metodologia SMAA-TRI. Esta metodologia é utilizada em decisões em grupo com uma problemática de classificação quando não se tem informações precisas a respeito das preferências dos decisores. De forma resumida, o modelo inicialmente aplica o método SMAA (*Stochastic Multicriteria Acceptability Analysis*) que resulta em categorias pré-definidas e ordenadas, em seguida é realizada uma agregação entre a Simulação Monte-Carlo e o método ELECTRE-TRI, resultando na classificação desejada.

A descrição do modelo pode ser melhor entendida com a visualização da Figura 2.7. Após o agrupamento das informações básicas iniciais são definidos os parâmetros tais como os limites entre as categorias (que são divididas de acordo com a intensidade das perdas) e os limiares de preferência e indiferença para cada critério. Em seguida, com o auxílio do software JSMAA os

valores definidos nas fases anteriores são analisados resultando nos índices de aceitabilidade para as alternativas, nas quais se observam a colocação de cada alternativa em sua categoria correspondente.

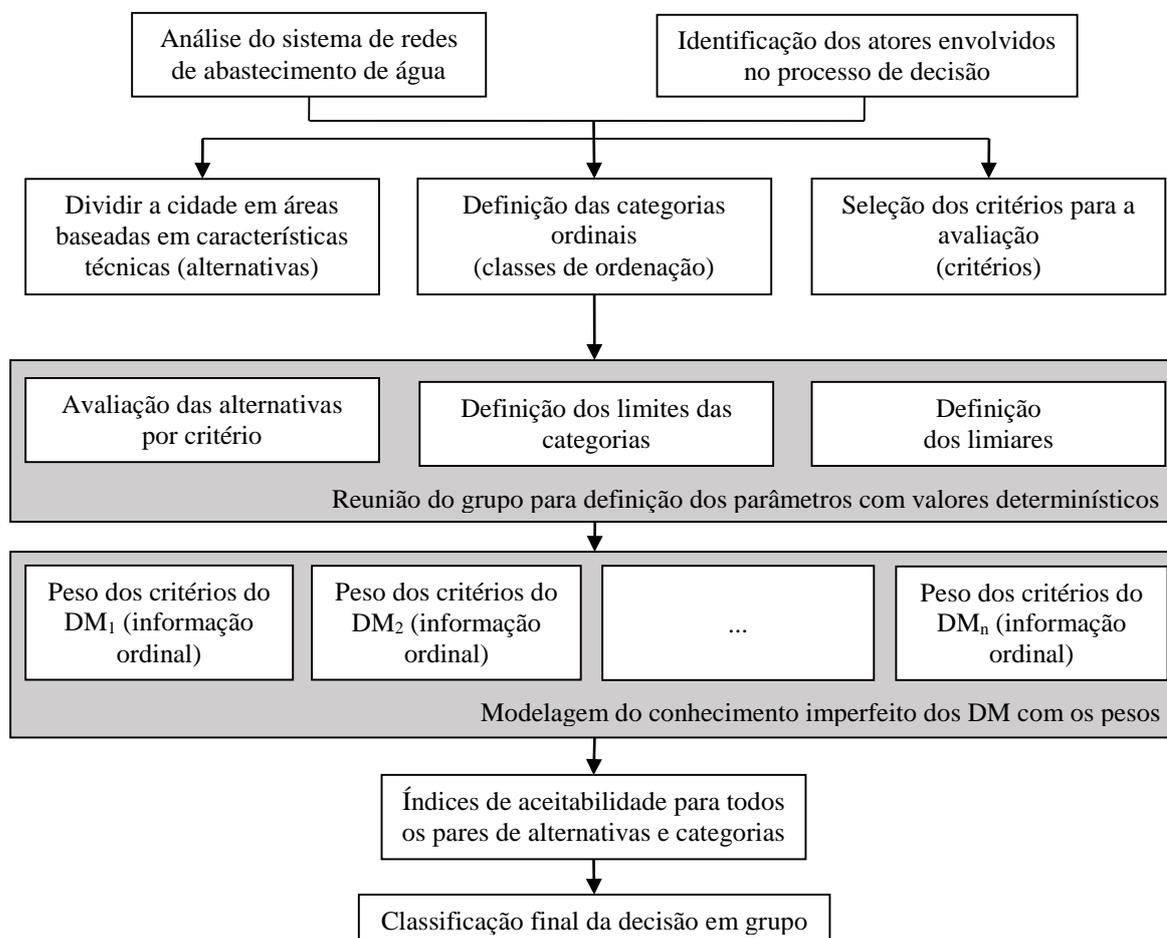


Figura 2.7 – Fluxograma do modelo de classificação para decisão em grupo.

Fonte: Adaptado de Morais et. al. (2014)

Os autores aplicaram este modelo em um estudo de caso no município de Carnaíba, no estado de Pernambuco, no nordeste brasileiro. Os resultados dessa aplicação mostraram que a classificação desenvolvida pode se tornar uma importante ferramenta, com a qual os decisores pode ter um quadro do sistema, e podem agir de forma mais proativa na gestão das redes, podendo evitar perdas por vazamentos nas áreas mais críticas. Enquanto que, por outro lado, segundo os autores, as áreas menos críticas não precisam ser priorizadas, podendo-se agir nelas com uma postura mais corretiva.

2.2.1.6 Modelos de decisão para reabilitação de redes de água

O problema de reabilitação de redes de água envolve diferentes aspectos: técnicos, ambientais e sociais. Além disso, a tomada de decisão nesse contexto envolve diferentes

grupos ou instituições com diferentes conhecimentos e julgamentos, além de prioridades e preferências que precisam ser agregados, como é definido na Política Nacional de Recursos Hídricos. Sendo assim, foram encontrados dois modelos aplicando métodos multicritério para tratar desse problema. O mais recente, é o modelo de Fontana & Morais (2013b). Este modelo segue a realização de três fases: estágio preliminar, estágio de avaliação e estágio de tomada de decisão (Figura 2.8). Além disso, baseia-se na utilização do PROMETHEE V, considerando o acréscimo de restrições associadas ao problema.

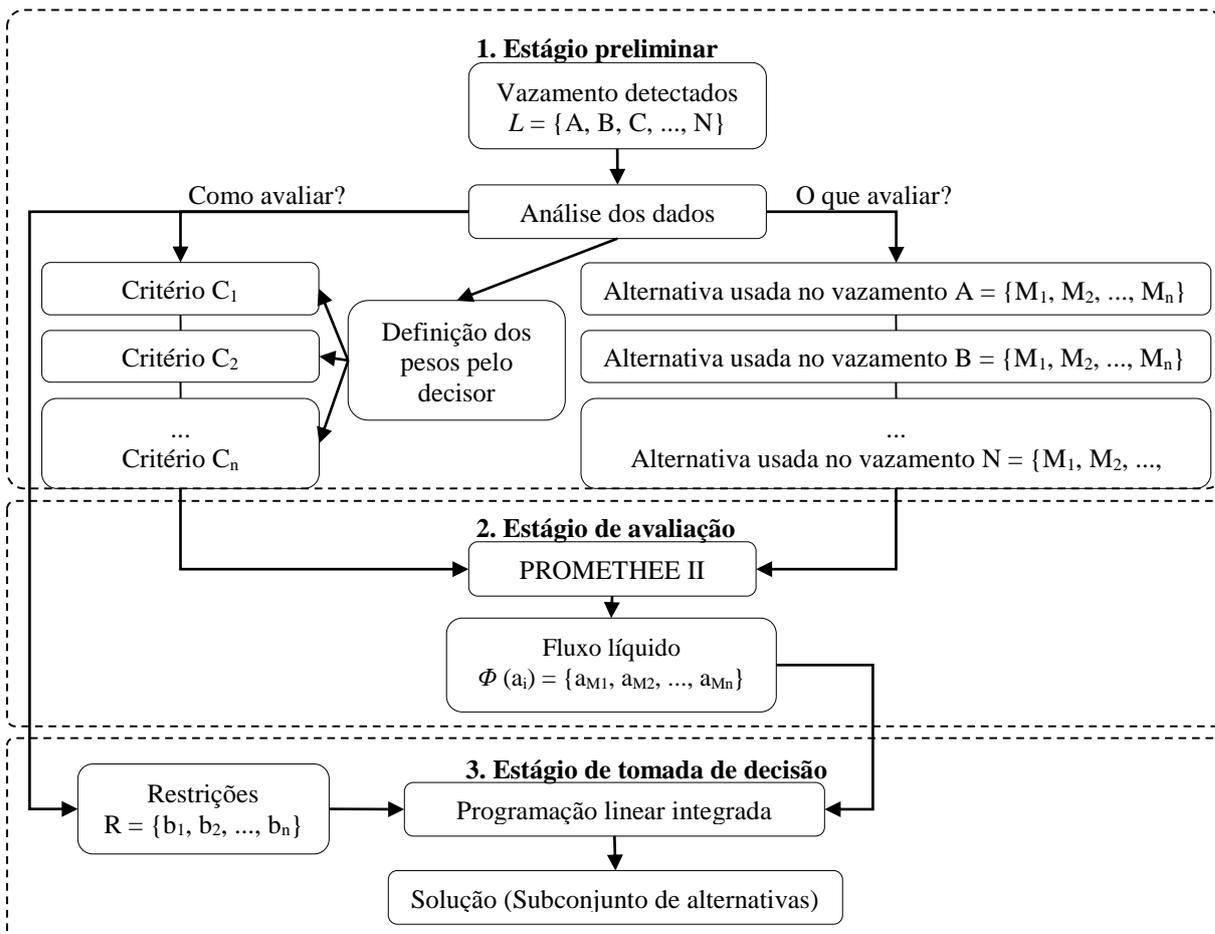


Figura 2.8 – Modelo proposto usando Promethee V.
 Fonte: Adaptado de Fontana & Morais (2013b)

O outro modelo, aplica a análise de rankings individuais, ele se divide em quatro fases (Figura 2.9) e é similar ao modelo de Morais & Almeida (2012), já apresentado na seção 2.2.4 deste mesmo trabalho.

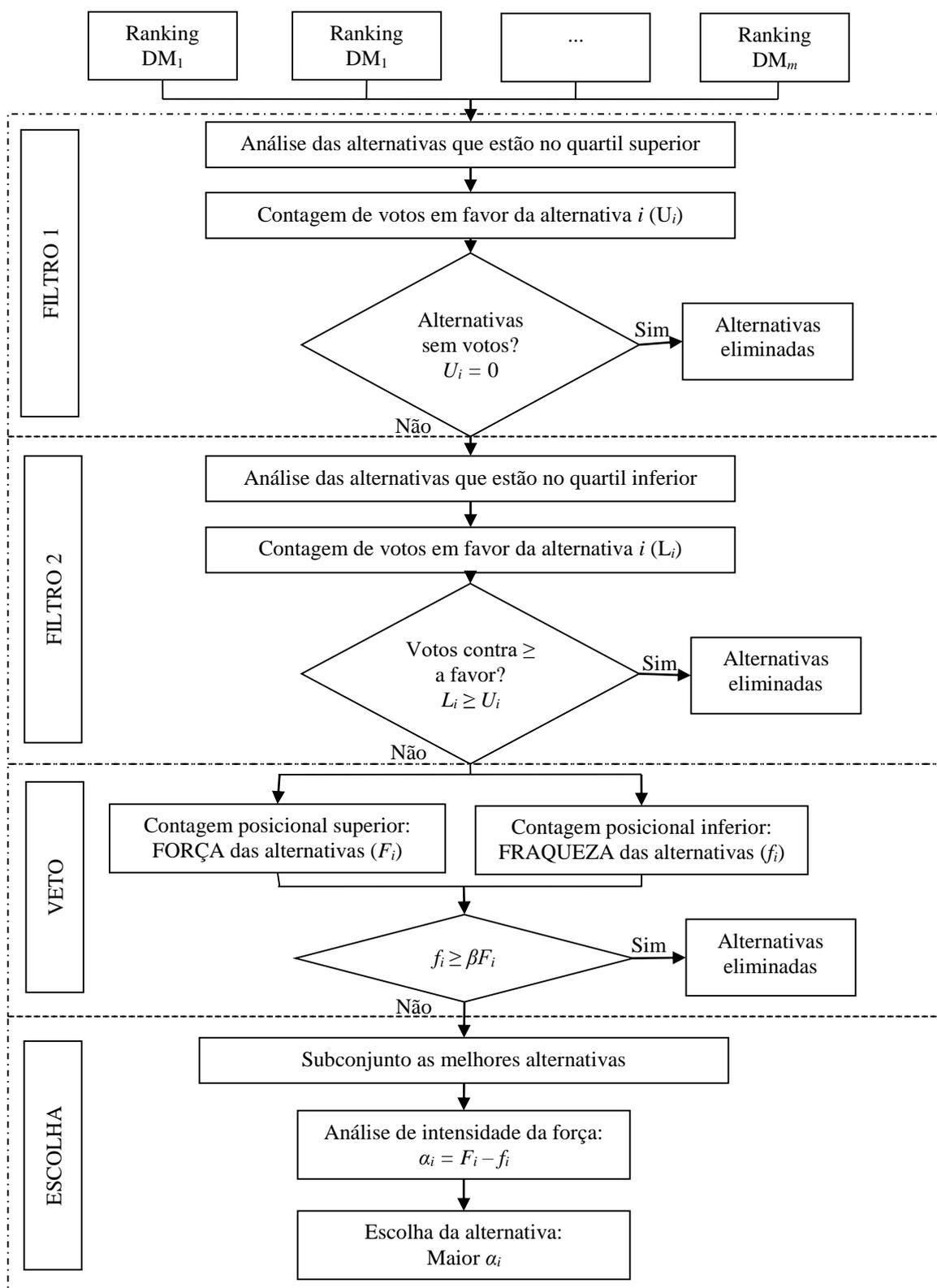


Figura 2.9 – Visão global do modelo.
 Fonte: Adaptado de Moraes & Almeida (2010)

Os resultados da aplicação dos dois modelos apontam que a utilização do método em conjunto com uma abordagem multicritério permite ao grupo de decisão identificar alternativas que são mais favoráveis ao problema. Assim, é possível melhorar a qualidade das decisões ao considerar aspectos além dos técnicos e econômicos.

2.2.2 Análise dos modelos

Os modelos aqui apresentados foram analisados considerando o âmbito de aplicação da decisão, o tipo de abordagem utilizada e a problemática abordada. Um resumo dessa análise pode ser visto no Quadro 2.3.

Quadro 2.3 – Análise dos modelos para recursos hídricos

AUTORES	PROBLEMA/CONTEXTO	ÂMBITO	ABORDAGEM UTILIZADA	PROBLE-MÁTICA	ESTRATÉGIA DE GESTÃO
Miller & Belton (2014)	Recursos hídricos em ambientes de mudanças climáticas	Governo	Modelo aditivo	Escolha	Mista
Morais et. al. (2014)	Perdas de água no Brasil	Governo	SMAA-TRI	Classificação	Rotina
Fontana & Morais (2013)	Reabilitação de redes de distribuição de água	Governo	PROMETHEE V	Portfólio	Rotina
Urtiga et. al. (2013)	Conflitos gerados pela disputa por água em regiões de escassez	Governo	Barganha de Nash e solução Kalai-Smorodinsky	-	Demanda
Morais & Almeida (2012)	Degradação do Rio Jaboatão	Governo	Análise de classificações individuais	Escolha	Oferta
Levino & Morais (2010)	Problemas complexos em comitês de bacias hidrográficas	Comitê	SODA	-	Oferta
Morais & Almeida (2010)	Reabilitação de redes de distribuição de água	Governo	Análise de classificações individuais	Escolha	Rotina

Fonte: Esta pesquisa, 2015.

Todos esses modelos procuram solucionar problemas na área de recursos hídricos, dentre eles apenas o modelo de Urtiga *et. al.* (2013) e o de Levino & Morais não apresentam uma aplicação de método multicritério para a solução, porém sugerem a necessidade.

Observa-se que nenhum dos modelos foi desenvolvido para aplicação no âmbito da companhia de saneamento detentora da concessão para gerir os recursos hídricos. Assim, torna-se necessário o desenvolvimento de um modelo que considere as decisões tomadas por essa empresa. Outro aspecto que se destaca, é o de que os modelos utilizam estratégias de

gestão, voltadas tanto para a rotina, como para a oferta e demanda. No entanto, nenhum dos trabalhos analisou o problema por esta perspectiva, buscando o balanceamento destas estratégias.

2.3 Estruturação de Problemas

As maiores contribuições para o apoio na tomada de decisões surgiram após a segunda guerra mundial. O desenvolvimento de técnicas e métodos matemáticos para solução de problemas de maneira ótima criou um campo de estudo conhecido como pesquisa operacional (PO). As abordagens desenvolvidas nesse período mostraram-se efetivas no apoio a tomada de decisão, voltando-se mais para a resolução dos problemas do que a formulação destes (BELTON & STEWART, 2002; ALMEIDA *et. al.*, 2012).

No entanto, as técnicas de PO tradicionais limitam-se por considerarem os decisores como possuidores de um comportamento racional e assumem os problemas como nitidamente definidos e estruturados (BELTON & STEWART, 2002; ALMEIDA *et. al.*, 2012). Porém, nem sempre as alternativas, bem como os critérios utilizados para a escolha estão claramente definidos. Assim, esses métodos, que são puramente quantitativos, não conseguiram se adaptar a ambientes complexos com muitas informações e com a necessidade de considerar aspectos qualitativos.

Desse modo, faz-se necessário a elaboração de métodos capazes de formular um modelo para representação do problema, através do qual o problema será estruturado de forma clara para o processo de tomada de decisão. Os métodos de estruturação de problemas (do inglês *Problem Structuring Methods* – PSM) servem de apoio à modelagem de problemas que envolvem uma grande quantidade de informações e auxiliam na visualização do problema pelos participantes da decisão (ROSENHEAD, 1996).

O uso de um PSM tem por objetivo proporcionar uma visualização clara da situação do problema para uma compreensão uniforme entre os atores envolvidos. Os PSM fazem uso de matemática simples e muitas vezes utilizam o apoio de *softwares*. Além disso, também é comum a utilização de aparatos gráficos no processo. Com isso, as preferências e julgamentos subjetivos dos decisores envolvidos são mais facilmente incorporados ao problema. Podem ser também utilizados conjuntamente com os métodos tradicionais de PO através de sistemas mais avançados de apoio a decisão. A principal função desses métodos é estruturar o problema antes da resolução (ALMEIDA *et. al.*, 2012).

Rosenhead (1996) apresenta alguns dos mais disseminados métodos que podem ser utilizados na estruturação de problemas, entre eles, os que tem se tornado mais conhecidos são: *Soft Systems Methodology* (SSM), *Strategic Choice Approach* (SCA) e *Strategic Options Development and Analysis* (SODA). Esses métodos serão descritos detalhadamente a seguir.

2.3.1 SSM - *Soft Systems Methodology*

A SSM é uma abordagem que busca a representação do mundo real através de um sistema de aprendizagem. Inicialmente desenvolvida por Checkland (2004) apenas para modelagem, o SSM vai além de uma ferramenta, sendo considerado como um sistema de aprendizagem de ambientes complexos. A utilização do SSM deve ocorrer de maneira cíclica, num processo que ocorre indefinidamente. A aplicação do SSM segue uma sequência de sete estágios (Figura 2.10).

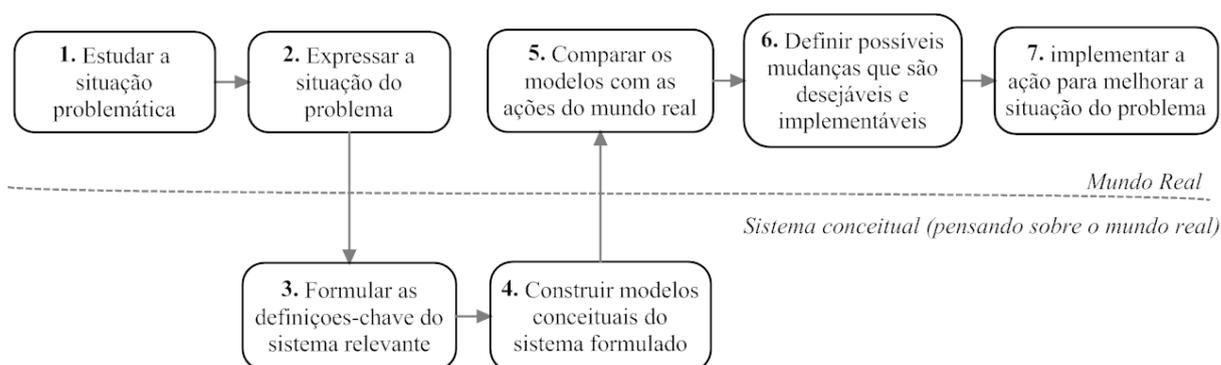


Figura 2.10 – Representação dos sete estágios da SSM.

Fonte: Adaptada de Checkland, 2004.

Através desta metodologia busca-se o entendimento da situação que se deseja melhorar, com a construção de uma “figura rica” onde todos os aspectos do problema são considerados. Mesmo com a criação de modelos do mundo real, o SSM não pretende elaborar uma reprodução desse mundo, mas sim permitir estruturar o pensamento das pessoas a respeito do mundo real (WILLIAMS, 2005).

Além disso, por meio da ferramenta CATWOE, também criada por Checkland (2004), são definidas as bases do modelo e com elas sugeridas as ações a serem implementadas. O sistema também é capaz de absorver mudanças ao longo do processo, fazendo comparações de forma que o modelo se acomode ao problema.

2.3.2 SCA - Strategic Choice Approach

A abordagem SCA tem como principal foco a administração das incertezas em situações estratégicas. Em comparação a outros processos semelhantes, a SCA se destaca por permitir uma visão mais dinâmica do processo estratégico. A dinâmica da SCA (Figura 2.11) fornece uma estrutura que se utiliza de um conjunto simples de conceitos e técnicas apropriado para o auxílio à decisão (ALMEIDA *et. al.*, 2012).

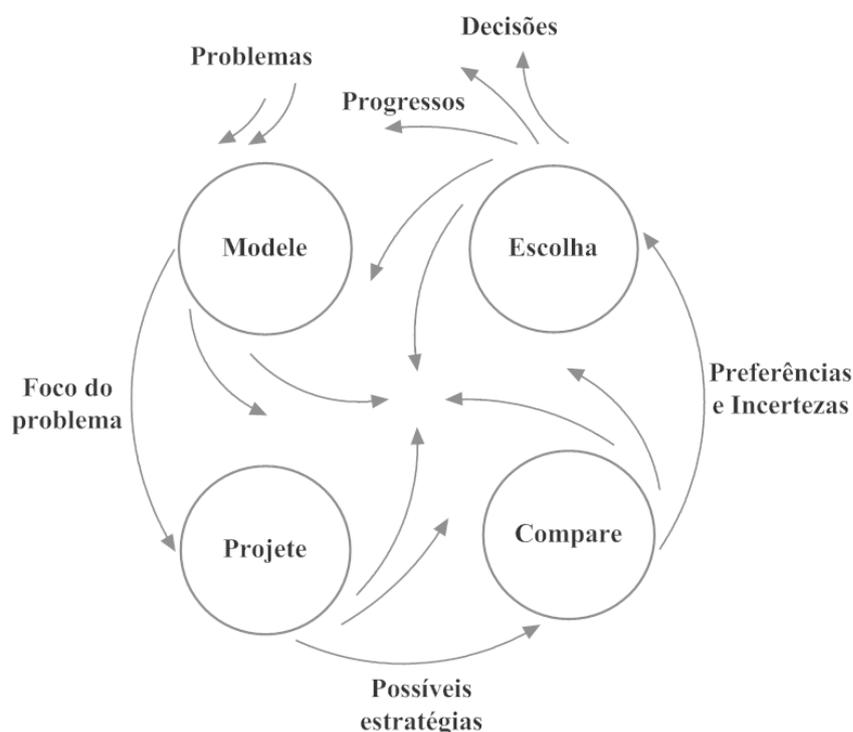


Figura 2.11 – A dinâmica da escolha estratégica.

Fonte: Adaptado de Friend, 2004.

Por intermédio dessa estrutura, dividida em quatro modos, os decisores debatem sobre o problema enfrentado e consideram como devem tratá-lo, no modo de modelagem. No modo de projeto são delineadas as possíveis alternativas e cursos de ação disponíveis e viáveis para o problema. Nesse ponto, também são analisadas as restrições do projeto. No modo de comparação, as alternativas discutidas anteriormente são avaliadas, considerando diversos critérios. Por fim, no modo de escolha, os decisores refletem sobre como lidar com as ações ao longo do tempo (FRIEND, 2004).

2.3.3 SODA - *Strategic Options Development and Analysis*

O SODA é um método de análise e desenvolvimento de opções estratégicas, que auxilia a tomada de decisão em problemas complexos. A abordagem baseia-se na premissa de que o subjetivismo é inerente aos processos de decisão, ou seja, pessoas diferentes irão interpretar de maneira diferente a mesma situação (EDEN, 1988). Este modelo utiliza mapas cognitivos para compreender e gravar os pontos de vista dos indivíduos envolvidos na decisão.

A aplicação dessa abordagem é guiada por quatro perspectivas (Figura 2.12), onde cada uma caminha em direção à aplicação de um dispositivo facilitador para a tomada de decisão.

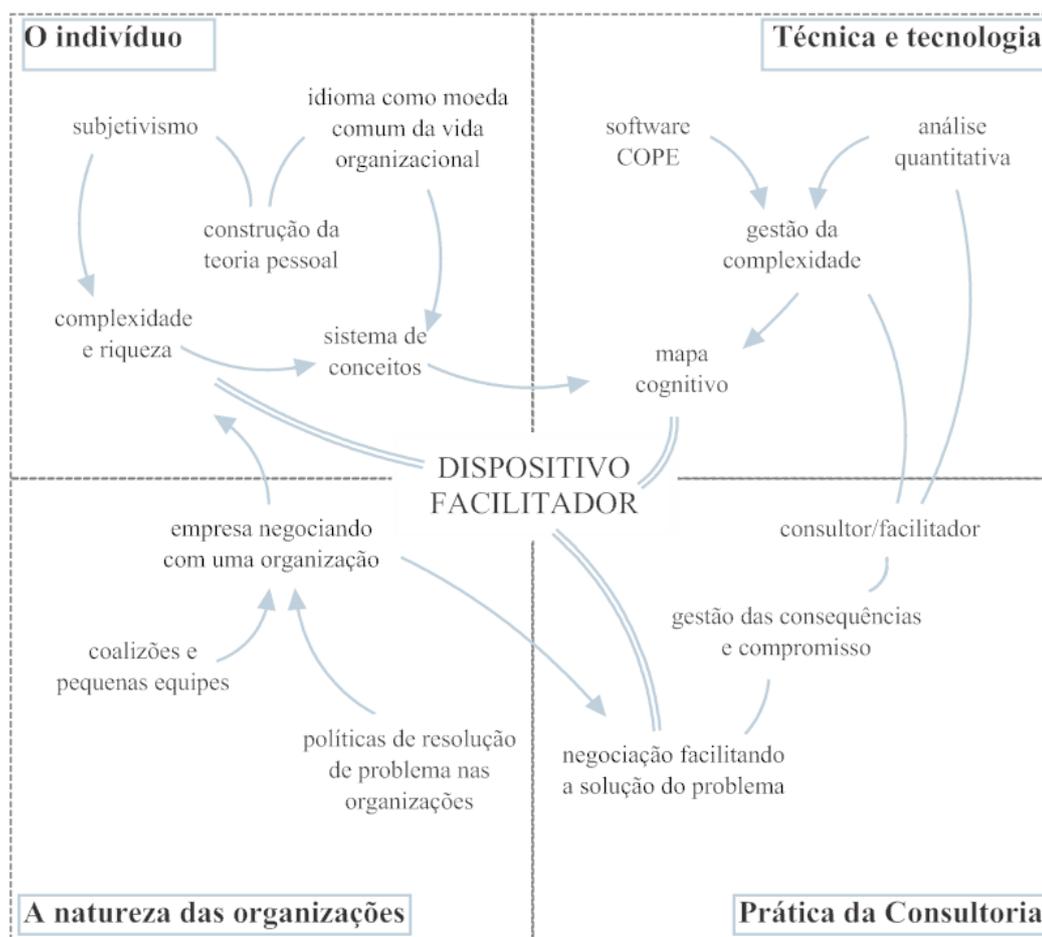


Figura 2.12 – Perspectivas-guias do SODA
 Fonte: Adaptado de Eden & Ackermann, 2004a.

O foco principal do SODA é o indivíduo, mais especificamente o processo de tomada de decisão que ocorre na mente deste indivíduo. Assim, a primeira perspectiva entende o indivíduo como percebedor e solucionador do problema. Na perspectiva da consultoria a

figura do especialista na construção de modelos se apresenta como facilitador ou consultor que apoiará o processo de decisão agregando os diferentes aspectos do problema no modelo.

A natureza das organizações é a perspectiva que guia o facilitador através da cultura organizacional de modo que este compreenda o comportamento das pessoas nesse contexto específico. Por fim, a perspectiva técnica e tecnologia, refere-se a técnica de geração de mapas cognitivos utilizada pelo SODA e à tecnologia que pode ser empregada através da utilização de um software que facilite o manuseio das informações e criação de mapas cognitivos, para uma melhor gestão das ideias exploradas no problema.

2.3.3.1 Mapas Cognitivos

No campo de pesquisa da psicologia, a construção de um mapa cognitivo é a tarefa de mapear o pensamento de uma pessoa. Um mapa cognitivo pode ser entendido como um meio de separar e representar constructos (ideias, informações) de um indivíduo e posicioná-los em forma de hierarquia. Desse modo, o mapa é formado por uma rede de palavras que se interligam de forma que uma palavra pode ser superior às outras, representando a forma como o indivíduo expressa um constructo (EDEN, 1988; EDEN & ACKERMAN, 2004b; ALMEIDA *et. al.*, 2012; LEVINO & MORAIS, 2011; FONTANA & MORAIS, 2013). Um exemplo de mapa cognitivo pode ser visto na Figura 2.13.

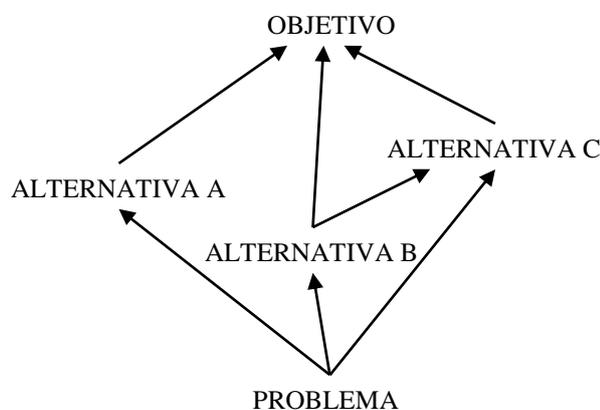


Figura 2.13 – Exemplo de mapa cognitivo

Fonte: Esta pesquisa, 2015.

O objetivo principal de um mapa cognitivo é expor as ideias, sentimentos, valores e atitudes do decisor. Assim, na estruturação do problema, o mapa atua como um gerador de informação para a questão trabalhada (ALMEIDA *et. al.*, 2012). Essa ferramenta vem sendo

utilizada como apoio a definição de um problema no contexto de gestão dos recursos hídricos. Para maiores informações consultar: Levino & Morais, 2011; Fontana & Morais, 2013.

A construção do mapa inicia com o facilitador definindo o problema a ser solucionado. Em seguida, os decisores identificam as alternativas partindo dessa definição, buscando uma situação que seja oposta à apresentada. Existem duas formas básicas de trabalhar com o mapa cognitivo: primeiro pode-se explorar o objetivo do problema e em seguida trabalhar as alternativas para atingi-lo (*laddering down*); ou pode-se partir das alternativas e gradualmente ir até os objetivos explorando os conceitos em torno das opções potenciais (*laddering up*) (ALMEIDA *et. al.*, 2012).

Além disso, segundo Eden (1988) casos onde a decisão sobre o problema pode envolver mais de um decisor a construção do mapa cognitivo pode ser realizada de duas formas:

a. Construção de um mapa único a partir de mapas cognitivos individuais:

São construídos mapas cognitivos para cada participante da decisão e através destes o facilitador irá construir um mapa geral agregando todas as informações. No entanto, é necessário bom senso do facilitador para respeitar as relações de hierarquia existentes dentre os membros da organização. Após essa fase, o mapa construído é apresentado aos participantes para promover uma reflexão a respeito dos objetivos e alternativas expostas, de modo que resulta num melhor entendimento sobre o problema.

b. Construção de um mapa geral com a reunião de todos os membros:

Esse processo é conduzido através de um *workshop*. Todos os membros envolvidos na resolução do problema interagem para a construção de um mapa único, enquanto o facilitador conduz o processo. No mais, com o envolvimento de todos os participantes ao mesmo tempo, cada um com opiniões, valores e sentimentos diferentes, é provável que conflitos sejam gerados, assim, cabe ao facilitador a habilidade de trabalhar com as possíveis discordâncias que venham a ocorrer. Sugere-se que o facilitador trabalhe com um processo cíclico de forma que os participantes absorvam as questões e se familiarizem com os detalhes do problema. Mesmo assim, deve se tomar cuidado com a perda de informação que pode ocorrer pela pouca contribuição de alguns indivíduos mais inibidos, diante da sobreposição de ideias de outros

indivíduos que tenham maior facilidade de se expressar e coagir os outros membros. Para evitar esta situação, sugere-se que as ideias sejam expressadas anonimamente, por exemplo.

Considerando o que foi exposto, através das explicações sobre os métodos de estruturação e o entendimento de algumas particularidades sobre o contexto dos recursos hídricos, que demonstram a característica multivariada do problema, a seguir serão apresentados os métodos multicritério, necessários nesse ambiente. Com o destaque para o método PROMETHEE V, aplicado neste trabalho.

2.4 Métodos de apoio à decisão multicritério

Os métodos de análise multicritério são úteis em situações nas quais há uma decisão que deve atender a múltiplos objetivos, que podem ou não ser conflitantes entre si. Portanto, essa avaliação dos múltiplos objetivos é realizada de maneira integrada. No mais, tais métodos permitem a adição de fatores subjetivos ao problema, caso seja necessário (ALMEIDA, 2013).

Um modo de diferenciação dos métodos multicritério pode ser através do tipo de problemática que estes pretendem solucionar. As possíveis problemáticas, foram identificadas por Roy (1996) inicialmente, como sendo quatro: escolha, classificação, ordenação e descrição. No entanto, pode-se acrescentar a estas ainda as problemáticas de design e portfólio. De acordo com Belton & Stewart (2002), as problemáticas tratadas por problemas multicritério são:

- Problemática de escolha [P.α] – utilizada para auxiliar na escolha de um subconjunto das alternativas dentro do espaço de ações;
- Problemática de classificação [P.β] – para colocar alternativas em classes, ou categorias tal como no modelo de Morais *et al.* (2014), por exemplo: zona de perdas críticas, zona de perdas médias e zonas de perdas baixas;
- Problemática de ordenação [P.γ] – objetiva ordenar as alternativas de acordo com as preferências que pode ou não ser completa;
- Problemática de descrição [P.δ] – apoia a decisão através de uma descrição das alternativas e suas consequências, que permita ao decisor avalia-las. É considerada uma problemática de aprendizagem sobre o problema, onde o decisor tem um entendimento melhor do problema.

- Problemática de Design – para buscar, identificar ou criar novas alternativas para alcançar os objetivos que são revelados ao longo do processo de decisão.
- Problemática de Portfólio – proporciona a escolha de um subconjunto de alternativas dentro do conjunto de alternativas, que atenda aos objetivos respeitando determinadas restrições. De tal modo, essa problemática se caracteriza como um problema de programação inteira 0-1. Esse tipo de problemática é comumente utilizada para problemas de seleção de projetos. A utilização dessa problemática será melhor explicada mais adiante.

Outra forma, mais generalista, de diferenciar os métodos de multicritério pode ser pela forma como a relação dos critérios entre si será estabelecida, que está relacionada à racionalidade do decisor em questão. Sendo assim, segundo Almeida (2013), os métodos podem ser:

- Métodos compensatórios (critério único de síntese) – dada uma alternativa, um mal desempenho em um determinado critério pode ser compensado por um bom desempenho em outro critério, pois são considerados *trade offs* entre eles. Assim, há uma agregação dos critérios em um único critério de síntese;
- Métodos não compensatórios (sobreclassificação) – não há uma compensação entre os critérios, o que ocorre são relações de prevalência ou subordinação das alternativas. Ou seja, não há relações de *trade off*.

Dentre os métodos compensatórios destacam-se o Método de agregação de aditivo determinístico; O MAUT – Teoria da utilidade multiatributo (KEENEY & RAIFFA, 1976); o método Macbeth (BANA E COSTA & VANSNICK, 1994); o método AHP (SAATY, 1980) e os métodos SMART (EDWARDS & BARRON, 1994). Dentre os métodos de sobreclassificação destacam-se a família de métodos ELECTRE (ROY, 1991) e a família de métodos PROMETHEE (BRANS *et. al.*, 1984).

A aplicação dos métodos de sobreclassificação divide-se em duas fases: (1) construção de uma relação de sobreclassificação; (2) exploração dessa relação (ALMEIDA, 2013).

Os métodos ELECTRE utilizam dois conceitos básicos para a construção das relações de sobreclassificação: Concordância e Discordância. A família de métodos inclui métodos a

serem aplicados em diferentes problemáticas, são eles: ELECTRE I, ELECTRE IS, ELECTRE II, ELECTRE III, ELECTRE IV e ELECTRE TRI (ROY, 1996).

Os métodos PROMETHEE, desenvolvidos por Brans *et. al.* (1984), constroem uma relação de sobreclassificação valorada, o que facilita o entendimento do decisor com relação ao método e ao processo decisório.

2.4.1 Os métodos PROMETHEE

Para compreensão do modelo proposto é preciso inicialmente entender a dinâmica dos métodos PROMETHEE assim esses métodos serão descritos da forma como foram desenvolvidos por Brans *et. al.* (1984).

A família de métodos PROMETHEE inclui os seguintes métodos:

- PROMETHEE I: que resulta em uma pré-ordem parcial;
- PROMETHEE II: tem como resultado uma pré-ordem completa;
- PROMETHEE III e IV: para problemas com componente estocástico;
- PROMETHEE V: trata a problemática de portfólio, com otimização inteira, este método será detalhado melhor adiante, devido à sua aplicação neste trabalho;
- PROMETHEE VI: são especificados intervalos, ao invés de valores fixos para os pesos.

O PROMETHEE I divide-se em duas fases. Na primeira fase, o decisor estabelece um peso (p_i) para cada critério e, é encontrada a função ($F_i(a, b)$) da diferença [$g_i(a) - g_i(b)$] entre o desempenho das alternativas para cada critério i .

Desse modo, o decisor estabelece um peso (w_i) para cada critério e a avaliação dos métodos PROMETHEE é feita através da obtenção do grau de sobreclassificação para cada par de alternativas, representado pela equação:

$$\pi(a, b) = \sum_{i=1}^n w_i F_i(a, b) \quad (2.1)$$

Onde:

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1 \quad (2.2)$$

Segundo, Brans & Vincke (1985) nos métodos PROMETHEE, a função de preferência pode assumir valores entre 0 e 1, sendo definido de seis formas básicas (Figura 2.14).

Na Figura 2.14, q e p representam, respectivamente: o limiar de indiferença, o maior valor para $[g_i(a) - g_i(b)]$, abaixo do qual existe uma indiferença; e o limiar de preferência, o menor valor para $[g_i(a) - g_i(b)]$, acima do qual existe uma preferência estrita.

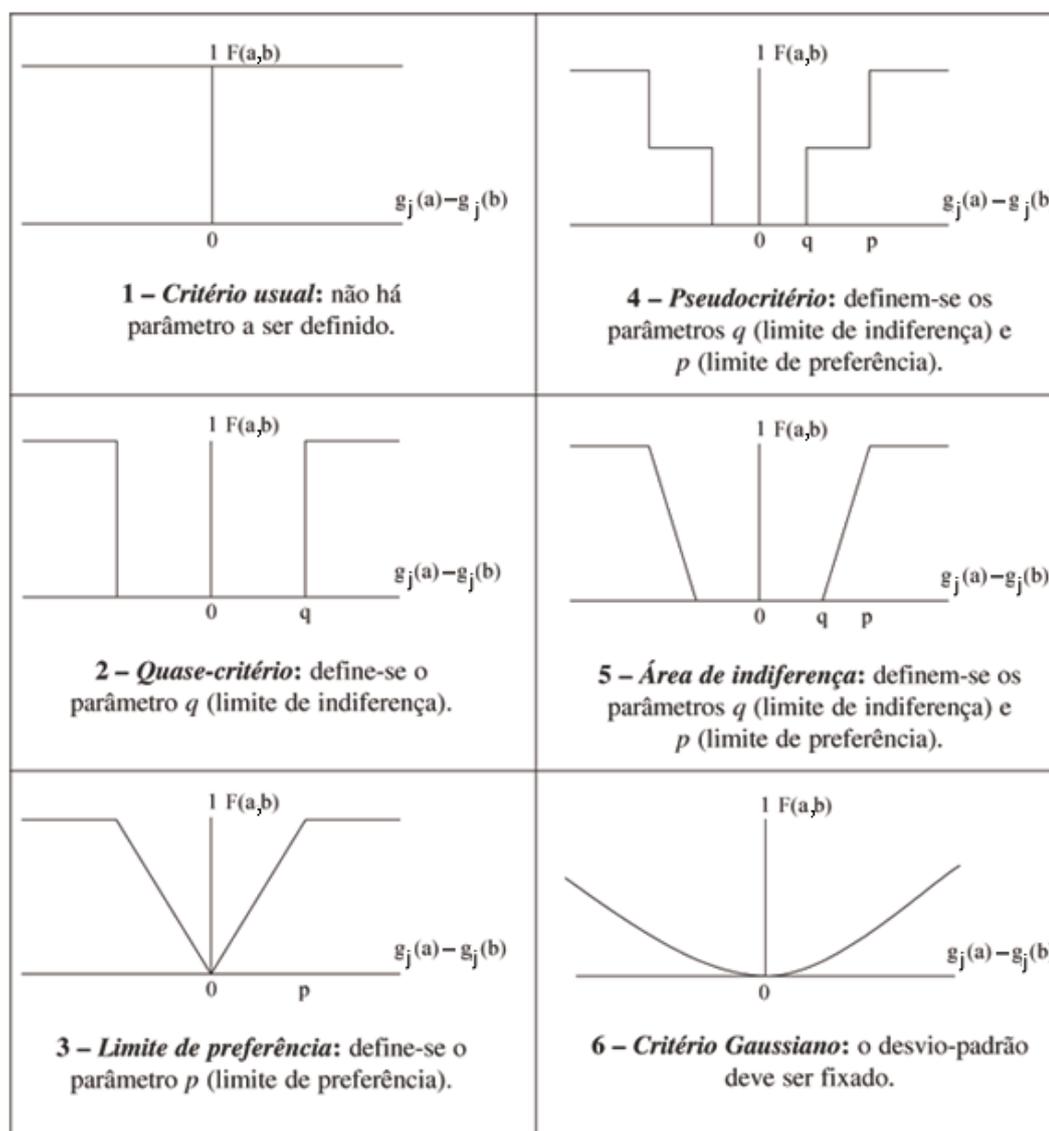


Figura 2.14 – Critérios gerais para o PROMETHEE.
 Fonte: ALMEIDA & COSTA, 2002.

Na segunda fase do PROMETHEE I, essa relação é explorada através dos fluxos de sobreclassificação:

- *De saída*, que representa a intensidade de preferência de ‘a’, sobre todas as alternativas ‘b’ no conjunto A. Ou seja, quanto maior $\Phi^+(a)$, melhor a alternativa:

$$\Phi^+(a) = \sum_{b \in A} \pi(a, b) \quad (2.3)$$

- *De entrada*, que representa a intensidade de preferência de todas as alternativas ‘b’ sobre a alternativa ‘a’ no conjunto A. Nesse caso, quanto menor $\Phi^-(a)$, melhor a alternativa:

$$\Phi^-(a) = \sum_{b \in A} \pi(b, a) \quad (2.4)$$

Com esses fluxos são estabelecidas duas pré-ordens, uma decrescente de $\Phi^+(a)$ e a outra crescente de $\Phi^-(a)$. Através da interseção dessas duas pré-ordens o método produz uma pré-ordem parcial a partir das relações de: preferência (P), indiferença (I) e incomparabilidade (R). Dessa forma chega-se ao resultado desejado.

No PROMETHEE II, é utilizado apenas um fluxo, o fluxo líquido das alternativas, dado por:

$$\Phi(a) = \Phi^+(a) - \Phi^-(a) \quad (2.5)$$

Dessa forma se estabelece uma pré-ordem completa entre as alternativas a partir das relações de preferência (P) e indiferença (I). Em outras palavras, ao comparar duas ações a e b , podem ser estabelecidas as seguintes relações:

- Preferir uma delas (P): aPb , a é preferível a b ;
- Ser indiferente a ambas (I): aIb , a e b são indiferentes.

A relação de sobreclassificação (S) é a relação característica da estrutura de preferências dos métodos PROMETHEE, esta relação é definida por: aSb se, e somente se aPb ou aIb (ou seja, $S = P \cup I$). Dessa forma:

- aPb se, e somente se aSb e b não sobreclassifique a ;
- aIb se, e somente se aSb e bSa .

Considerando problemas que apresentam restrições na escolha das alternativas, Brans & Mareschal (1992) desenvolveram o PROMETHEE V. Esse método objetiva solucionar a problemática de portfólio utilizando os fluxos líquidos das alternativas resultantes da aplicação do PROMETHEE II na modelagem de um problema de programação inteira 1-0.

Dessa forma é possível selecionar um subconjunto de alternativas, respeitando algumas restrições limitantes.

Esse método é interessante para situação onde é preciso se fazer uma seleção entre projetos. Nesse tipo de problema procura-se obter um portfólio com um valor máximo dos fluxos, sujeito a uma restrição. Assim, tem-se:

$$\text{Máx} \sum \Phi_i x_i \quad (2.6)$$

Sujeito a,

$$\sum b_i x_i \leq B \quad (2.7)$$

$$x_i = \begin{cases} 1 & \text{se } x_i \text{ for selecionada} \\ 0 & \text{se } x_i \text{ não for selecionada} \end{cases}$$

No entanto, foi identificada por Mavrotas *et. al.* (2006) que este modelo clássico do PROMETHEE V, exclui do resultado as alternativas que apresentam um fluxo negativo. Na tentativa de solucionar este problema os autores propuseram a inclusão de um valor constante (t), que faria com que todos os valores dos fluxos se mostrassem positivos. De modo que a função objetivo para o problema seria dada por:

$$\text{Máx} \sum (\Phi_i + t) x_i \quad (2.8)$$

Esta solução, porém, foi mostrada como inconsistente por Vetschera & Almeida (2012), e também em Almeida & Vetschera (2010), que demonstraram que a adição da constante t resulta por alterar as escalas, de modo que várias soluções diferentes podem ser encontradas a depender do valor de t . Estes autores por sua vez, propuseram a inserção de uma outra restrição que determinasse um número fixo (c) para a quantidade de alternativas a serem inseridas no portfólio. A utilização deste valor de *c-ótimo* ao problema soluciona o problema da não inclusão das alternativas com fluxos líquidos negativos e evita a inconsistência provocada pela adição de uma constante. Assim tem-se uma restrição:

$$\sum x_i = c \quad (2.9)$$

Este método de utilização do PROMETHEE V com adição do *c-ótimo*, já foi inicialmente utilizado no contexto de gestão dos recursos hídricos por Fontana & Morais (2013). Este estudo tinha por contexto a reabilitação de redes de água. A aplicação do modelo

descrita mais adiante neste trabalho inclui a utilização do método PROMETHEE V, utilizando a restrição adicional de *c-ótimo* sugerida por Vetschera e Almeida (2012).

2.5 Considerações finais sobre o capítulo

A base conceitual deste trabalho é formada considerando todos os conceitos explanados no capítulo inteiro. Os Sistemas de Abastecimento de Água são a solução definitiva para o abastecimento coletivo, dessa forma, a utilização racional dos recursos hídricos depende de um bom planejamento aplicado à gestão destes SAA's.

Neste capítulo, foi explicado também que há três possíveis estratégias para gestão da água: a estratégia de gestão da rotina, não aconselhável; a estratégia de gestão da oferta; e a estratégia de gestão da demanda. O melhor caminho seria a aplicação das duas estratégias de oferta e de demanda de forma conjunta.

Em seguida foram discutidos os modelos desenvolvidos para decisão em abastecimento de água. Diante da disposição de diferentes modelos desenvolvidos para a gestão da água, faz-se necessário uma complementação na intenção de preencher as lacunas deixadas por tais modelos. Observa-se que a gestão dos recursos hídricos tem sido discutida em diferentes escalas por organizações do mundo inteiro. No entanto, as decisões mais diretas são tomadas no âmbito das empresas detentoras das concessões para gerir o processo realizado pelos SAA's.

De tal modo, o presente trabalho objetiva explorar e estruturar o processo de decisão interno que ocorre nessas concessionárias. E, com isso, elaborar um modo de apoiar as decisões nesse contexto considerando as estratégias de oferta e demanda conjuntamente.

Para a elaboração do modelo a base científica está centrada nos dois tipos de métodos apresentados neste capítulo. Os métodos de estruturação de problemas, que são utilizados para esclarecer o problema e analisar todos os seus aspectos. E, os métodos de apoio a decisão multicritério, que são utilizados para fazer a comparação entre as possíveis alternativas diante dos critérios apresentados, considerando a preferência do decisor.

Na próxima seção será explanado o modelo desenvolvido e em seguida a sua aplicação no contexto do Agreste de Pernambuco.

3 MODELO PARA DECISÕES EM ABASTECIMENTO DE ÁGUA

Este capítulo é baseado em uma pesquisa preliminar realizada na primeira parte de coleta de dados desse trabalho. A pesquisa aponta que não existe atualmente um processo estruturado para apoiar a tomada de decisão sobre o abastecimento de água no Agreste de Pernambuco, que vise as estratégias de gestão, buscando o balanceamento entre oferta e demanda. Com isso, propõe-se o desenvolvimento de uma estrutura através da qual as informações relevantes sejam organizadas de maneira a facilitar a tomada de decisão nesse contexto, buscando uma estratégia mista que proporcione o abastecimento de maneira contínua para a população, sem grandes prejuízos na oferta de água.

3.1 O Processo de decisão atual da concessionária

As decisões sobre abastecimento de água para o Agreste de Pernambuco são tomadas atualmente de maneira informal, sem o apoio de nenhum método específico de apoio à tomada de decisão. Os problemas a serem tratados são, geralmente, vistos num horizonte de curto prazo e buscam-se soluções paliativas, ou seja, a estratégia de gestão adotada está mais voltada para a rotina, para os procedimentos operacionais do dia-a-dia.

Em termos gerais, o processo segue a sequência dos níveis hierárquicos de decisão conforme a Figura 3.1. As coordenações locais apresentam os problemas através dos relatórios e sugerem as possíveis alternativas.

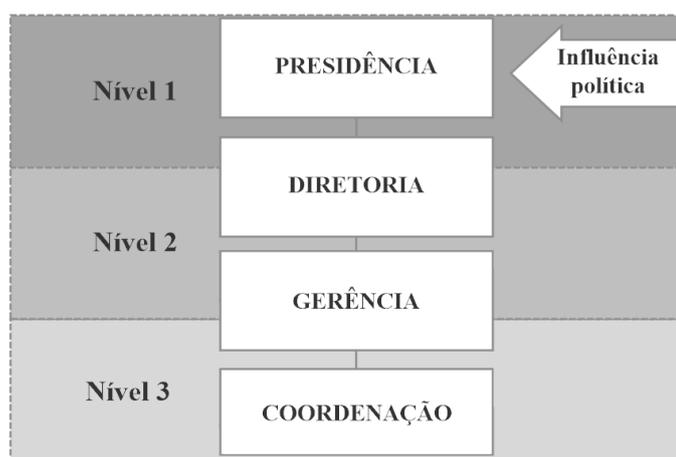


Figura 3.1 – Processo de decisão atual da companhia

Fonte: Esta Pesquisa, 2015.

As soluções sugeridas são analisadas por cada nível baseando-se em três critérios gerais explicados no Quadro 3.1.

Quadro 3.1 – Critérios atuais para escolha de alternativas de abastecimento de água no Agreste

(1) <i>Viabilidade técnica: é possível fazer?</i>	Uma equipe técnica (que pode ser formada por Engenheiros Elétricos, Mecânicos, Técnicos em Saneamento, Eletrônica e outras áreas) se reúne e elabora um projeto de viabilidade para apresentar aos gerentes;
(2) <i>Viabilidade financeira: nós podemos pagar?</i>	A mesma equipe que elaborou o projeto faz o levantamento dos custos das ações sugeridas e os recursos disponíveis para realizá-las. Os custos são analisados pelo Coordenador Financeiro;
(3) <i>Benefício à sociedade</i>	É considerado pela gerência o benefício que aquela solução trará e a quantidade de pessoas que serão beneficiadas com a aplicação de cada medida.

Fonte: Esta pesquisa, 2015.

Dentre os critérios utilizados atualmente pela companhia o último, ‘benefício à sociedade’, é o critério de maior relevância e que tem maior peso na decisão. Isso porque, em muitos casos, as limitações técnicas ou financeiras que venham a aparecer podem ser contornadas em vista do benefício da população.

O meio utilizado para contornar as limitações financeiras é, comumente, através de solicitações de recursos externos, sendo, em geral, advindos do Governo Federal. Isso porque, as instalações dos Sistemas de Abastecimento de Água são apenas concedidas a empresa gestora, porém são de domínio público. Normalmente são lançados editais, onde os projetos concorrem para conseguir o financiamento necessário. Ademais, o recurso pode ser também conseguido através de outras instituições, tais como o Banco Mundial.

Apesar das melhorias já realizadas pela gestão corporativa da companhia a ausência de um procedimento que ampare as decisões permite uma forte influência política exercida pelo governo do estado diretamente à presidência, como pôde ser visto na Figura 3.1. Portanto, é preciso que o processo de tomada de decisão dessa empresa esteja amparado por um método estruturado, que não permita soluções mais adequadas sejam sobrepujadas por outras devido a alguma influência externa, como as pressões exercidas pela população e a autoridade do governo.

A manutenção do abastecimento de água de forma contínua é um dos maiores problemas enfrentados pelo setor de gestão de recursos hídricos no Agreste de Pernambuco. Esse é um problema que precisa de medidas sustentáveis e capazes de adaptação a diferentes cenários de clima, pois as consequências das decisões nesse setor atingem grandes proporções

e influenciam diretamente a qualidade de vida da população, bem como o crescimento industrial da região.

3.2 Etapas do modelo proposto

O modelo elaborado aqui procura compreender as complexidades do problema de abastecimento de água e, também, incorporar os aspectos tanto quantitativos como subjetivos associados ao contexto do Agreste de Pernambuco. Neste caso o processo será descrito dividindo-se em três etapas.

Na primeira etapa são levantados os dados necessários para a identificação dos principais problemas encontrados no ambiente trabalhado, com isso são também definidos os atores do processo de decisão.

Na segunda etapa inicia-se a utilização do SODA, o método que auxiliará na estruturação do problema. Sendo assim, é realizado um *workshop* com os atores do processo, onde é definido o problema que será tratado e são reunidas as informações necessárias através da geração de dois mapas cognitivos, com as possíveis alternativas do problema.

Durante o *workshop*, é elaborado um mapa para cada tipo de estratégia a ser adotada. Ou seja, um mapa cognitivo apresentará alternativas para oferta de água e o outro para a demanda de água. Além disso, são definidos pelos participantes os critérios pelos quais as alternativas serão avaliadas.

As informações reunidas são analisadas e organizadas de forma que fiquem mais claramente entendidas as alternativas e os critérios que serão utilizados na avaliação do problema. São assim expostas todas as informações em uma matriz de consequência.

Na etapa três é aplicado o método PROMETHEE em duas fases, com o objetivo de realizar uma avaliação multicritério para a tomada de decisão sobre o problema. Inicialmente é aplicado o PROMETHEE II, em seguida é realizada uma fase de Filtro, onde algumas alternativas podem ser previamente descartadas. E a depender do resultado da fase de Filtro pode-se aplicar o PROMETHEE V para seleção de um portfólio de alternativas.

Por fim, é realizada a avaliação dos resultados e uma análise de sensibilidade para verificar a robustez da solução diante das possíveis variações no cenário.

Na Figura 3.2 o esquema sequencial de execução do processo está demonstrado de forma mais detalhada, como será descrito nos tópicos seguintes.

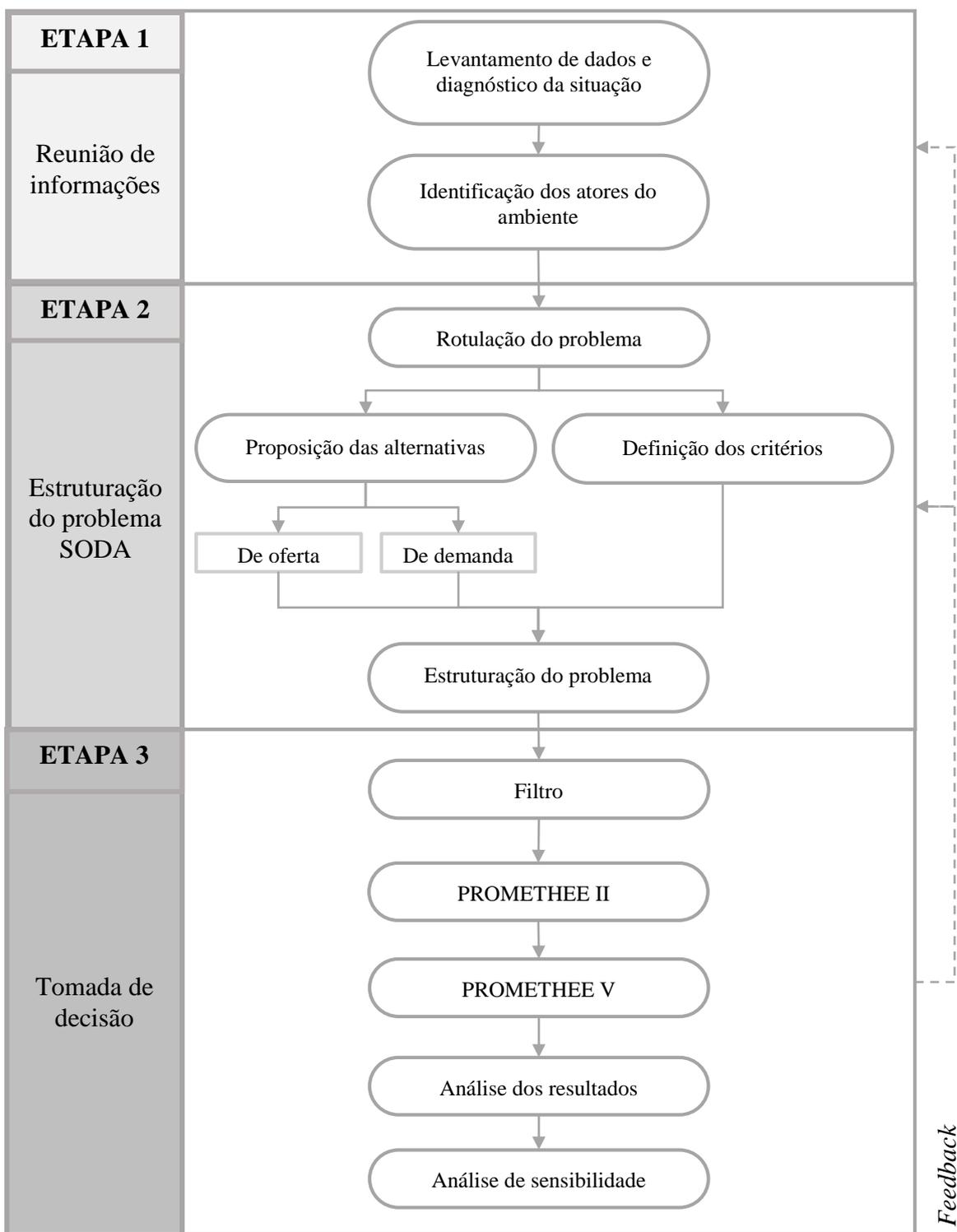


Figura 3.2 – Modelo para decisões estratégicas em abastecimento.

Fonte: Esta pesquisa, 2015.

3.2.1 ETAPA 1 – Reunião de informações

A etapa inicial do processo objetiva reunir todos os aspectos relevantes do processo, considerando todas as informações reunidas através de um levantamento de dados, para estabelecer os participantes do processo e fornecer um diagnóstico da situação problemática.

- Levantamento de dados e diagnóstico da situação

Esta atividade é necessária para o processo, pois com as informações reunidas nessa fase é realizada uma caracterização do ambiente em que se procura resolver a situação problemática.

Algumas informações relevantes, como por exemplo, informações relacionadas a abrangência das decisões sobre a gestão das águas, como se distribui a responsabilidade dessas decisões em termo de pesos, quais são as maiores influências e pressões exercidas no processo de decisão, as questões importantes enfrentadas no momento pelo setor, os desafios previstos no horizonte de longo prazo, dentre outras. O levantamento desses dados pode ser feito através da revisão da literatura ou, até mesmo, por meio da coleta de algumas informações básicas na empresa concessionária.

Os dados reunidos nessa fase do processo são fundamentais para uma maior compreensão sobre a totalidade da situação e identificar os aspectos-chave para montar as definições iniciais para a estruturação do problema.

Com a junção de todos os dados levantados é realizada uma análise através da qual estes dados são interpretados de forma a gerar informações para o processo de estruturação. Os dados são analisados, organizados e descritos de forma que apresentem um panorama geral da situação para o início da compreensão sobre os problemas encontrados no sistema.

- Identificação dos atores do processo

Como já apontado anteriormente, dentro do escopo da gestão de recursos hídricos as proporções das decisões tomadas causam consequências em diferentes setores associados ao desenvolvimento da indústria, a qualidade de vida da população e etc., sendo assim, os atores envolvidos no processo não são encontrados explicitamente.

É necessário identificar e definir quem serão os decisores, quais são os grupos que exercem pressão sobre esta decisão e quais são os grupos que serão afetados pela decisão. Além disso, é válida também a delimitação do papel do facilitador que será responsável pela condução do processo.

3.2.2 ETAPA 2 – Estruturação do Problema - SODA

Essa etapa busca desenvolver e estimular a geração de ideias pelos decisores para que sejam captadas as percepções, objetivos, valores e que estes sejam transformados em insumos para incorporarem a avaliação no processo de decisão.

Nessa fase do processo é aplicado o SODA com o objetivo de fornecer uma visualização unificada do problema, na qual todos os participantes podem compreender o ponto de vista uns dos outros. Sendo assim, os participantes são estimulados a expressar todo o conhecimento que possuem sobre o problema.

O SODA foi escolhido pois, é um método que oferece a possibilidade de avaliação das perspectivas individuais de maneira agregada. Dentre os métodos de estruturação de problemas, o SODA (*Strategic Options Development Analysis*) se apresenta como mais adequado porque ao captar a percepção de cada indivíduo a respeito do problema é capaz de agregar diversas opiniões, muitas vezes até difusas, acrescentando assim aspectos subjetivos ao modelo.

Nessa parte do processo as percepções dos participantes devem ser captadas pelo facilitador de forma que sejam formados seus pontos de vista sobre o abastecimento de água no Agreste de Pernambuco, através de um *workshop* realizado com o grupo, onde todos podem construir conjuntamente o conhecimento sobre o problema. Durante a construção do mapa podem-se perceber algumas indicações sobre a personalidade do indivíduo, suas atitudes e posições gerais, como também aspectos culturais da organização na qual ele faz parte.

- Rotulação do problema

Após a conclusão da atividade anterior, os participantes do processo são convocados para um *workshop*, onde é escolhido um rótulo para o problema a ser tratado. O problema deve ser estabelecido como resultado das questões importantes que foram levantadas inicialmente e após a conclusão do diagnóstico da situação atual.

- Proposição das alternativas

Durante o *workshop* os participantes são estimulados a expressar suas opiniões abertamente, dentro do que se pede. Dado o aspecto estratégico do modelo, os participantes são indagados a propor sugestões dentro do escopo das estratégias de gestão de oferta e demanda de água. Eles são solicitados a propor alternativas voltadas para a *oferta e demanda*,

de forma igualitária. O facilitador nesse momento registra, através de perguntas e respostas, os elementos primários de avaliação (EPAs).

Em seguida, EPAs obtidos são expressos em constructos. Estes constructos são nada mais do que as percepções pessoais em formato de conceitos. Os conceitos são escritos abreviadamente (dez a doze palavras) de forma imperativa, no sentido de uma ação a ser realizada.

O resultado desse processo será a construção de dois mapas cognitivos, um com alternativas para aumento da oferta e outro com as alternativas para redução da demanda. Após a definição dos conceitos, a estrutura dos mapas cognitivos é formada a partir de ligações que relacionam os conceitos. Para isso, os conceitos são identificados como conceitos-meio e conceitos-fim. As ligações são encontradas por meio de relações de causalidade par-a-par entre os conceitos e são simbolizadas por setas, direcionadas aos conceitos fim.

Aqui as alternativas possíveis são identificadas através das informações contidas no mapa cognitivo agregado. Nesse ponto os elementos que foram citados anteriormente podem ser mais detalhados, assim as alternativas são exploradas observando-se suas peculiaridades, onde são analisados seus aspectos positivos e negativos.

- Definição dos critérios

Após a montagem dos mapas cognitivos, são obtidos os critérios de avaliação. Ao estabelecer os critérios adequados, permite-se fazer o julgamento entre as alternativas potenciais para solucionar o problema. Dessa forma, busca-se encontrar uma solução, considerando aquelas que atendam os critérios utilizados na análise.

A forma de avaliação do desempenho dos critérios pode depender das especificidades de cada critério. Alguns são mais facilmente mensurados, através de valores numéricos. Outros, porém, não possuem uma visualização clara de como devem ser avaliados, assim a análise desses critérios pode ser feita de forma subjetiva utilizando-se uma escala verbal para comparação.

- Modelagem do problema

Dando continuidade, os critérios definidos são apresentados em relação às alternativas estabelecidas no formato de uma matriz. Por intermédio dessa matriz o desempenho dos

critérios em cada alternativa é, também, analisado pelos decisores. Com isso, é criada a matriz de julgamentos que auxiliará o prosseguimento dessa etapa.

3.2.3 ETAPA 3 – Tomada de decisão

Com o problema adequadamente estruturado pode-se, então, buscar uma solução através de um método multicritério de apoio a decisão. Considerando as características do problema tais como: o ambiente onde a decisão está inserida, os atores envolvidos, a estrutura de preferência do decisor e o tipo de solução que se deseja atingir (ALMEIDA, 2013), foi escolhido o método PROMETHEE, que pode ser aplicado em duas fases, inicialmente o PROMETHEE II apresentará uma priorização das alternativas, em seguida, a depender do orçamento disponível pode ser aplicado o PROMETHEE V.

- *Filtro*

Na fase de filtro o objetivo é eliminar as alternativas irrelevantes para o processo. Considerando que os recursos para a aplicação das alternativas sugeridas são limitados, ao tomar conhecimento desse orçamento muitas alternativas podem ser descartadas nessa fase apenas considerando o custo de implantação de cada uma.

Nessa fase pode também ser realizada a eliminação de critérios. Critérios que foram considerados relevantes pelos participantes do *workshop*, mas que ao ser realizada a avaliação do seu desempenho se mostraram irrelevantes para comparação entre as alternativas.

- *PROMETHEE II*

Avaliação intracritério (primeira fase do PROMETHEE). Nos métodos de sobreclassificação, como é o caso do PROMETHEE II, essa avaliação envolve o estabelecimento de alguns parâmetros, tais como: os limiares de indiferença, preferência e veto, além da escolha da função de preferência. Em uma reunião realizada com o decisor, é explicada a função dos parâmetros e estes são obtidos de acordo com as preferências do decisor.

Avaliação intercritério (segunda fase do PROMETHEE). Nesse momento são obtidas as informações que possibilitam a agregação dos critérios através de uma combinação quantitativa. Se possível na mesma reunião ou em uma segunda reunião, são atribuídos os pesos, ou seja, é analisada pelo decisor a importância relativa de cada critério, no caso dos pesos.

- PROMETHEE V

Considerando a necessidade de utilizar uma estratégia mista de oferta e demanda, é necessário a montagem de um portfólio de alternativas que inclua alternativas de oferta e de demanda. A aplicação do PROMETHEE V, que consiste em um problema de otimização utilizando programação inteira 1-0. Assim, nessa fase é feita a definição dos parâmetros para este método. As restrições para o problema são: (1) restrição de orçamento, a soma do custo das alternativas selecionadas não pode ultrapassar o orçamento disponível; (2) restrição para alternativas de oferta, deve ser selecionada ao menos uma alternativa de oferta; (3) restrição para alternativas de demanda, deve ser selecionada ao menos uma alternativa de demanda; e (4) a restrição de c-ótimo, definida teoricamente.

- Análise dos resultados

Por fim, após a aplicação do método escolhido o resultado gera a solução encontrada com as alternativas representando as preferências do decisor. Com isso, ao final dessa etapa as soluções que devem ser implantadas já estão esclarecidas e colocadas de maneira que as ações já podem ser tomadas.

- Análise de sensibilidade

Nessa etapa é realizada análise que visa avaliar a robustez da solução proposta. Assim, são observadas as reações das alternativas em diferentes cenários, com diferentes parâmetros, tais como diferentes pesos, por exemplo.

- Feedback

Além de todas as etapas descritas, é importante ressaltar a presença de uma possibilidade de refinamento do modelo, representada pelas setas tracejadas. Essa função, nomeada como *feedback*, significa a possibilidade de revisão do modelo em todas as etapas, buscando o aperfeiçoamento e a melhor adaptação do modelo para a situação problemática específica. Desse modo o processo torna-se dinâmico e uma nova informação pode ser inserida a qualquer momento ao longo do processo.

3.3 Considerações finais sobre o capítulo

Este capítulo apresentou o modelo proposto, desenvolvido considerando a utilização de dois tipos de métodos: um método para estruturação do problema (o SODA), e outro para o

juízo das alternativas (PROMETHEE II e V). O modelo procura atender a problemas de decisões estratégicas de oferta e demanda de água. No capítulo seguinte será apresentada uma aplicação do modelo realizada no ambiente de decisão da companhia gestora dos recursos hídricos em Pernambuco, mais especificamente na unidade de gestão do Agreste.

4 APLICAÇÃO DO MODELO EM UM CASO NO AGRESTE DE PERNAMBUCO

Neste capítulo será apresentada a aplicação do modelo proposto. Em seguida será detalhado o processo de estruturação realizado para a geração de ideias e desenvolvimento de soluções para o problema de abastecimento de água no Agreste de Pernambuco, objetivo central deste trabalho.

4.1 Etapas da aplicação do modelo

Com o objetivo de apoiar as decisões para abastecimento de água a seguir será apresentada, etapa por etapa, a aplicação realizada neste trabalho, que poderá auxiliar a companhia de saneamento a tomar decisões, considerando a perspectivas dos outros atores envolvidos e de maneira mais estruturada e embasada.

4.1.1 ETAPA 1 – Reunião de informações

Nesse ponto, deve ser observado todo o contexto em que se envolvem as atividades de gestão dos recursos hídricos no Agreste de Pernambuco.

- Levantamento de dados e diagnóstico da situação

Durante esta parte da pesquisa foram levantadas informações através do aplicativo “Série Histórica 2010” disponibilizado no site do Sistema Nacional de Informações de Saneamento (SNIS), bem como através de dados encontrados também no site da Agência Nacional de Águas (ANA). Além dessas fontes, foram pesquisados também os trabalhos científicos desenvolvidos para esse setor, alguns dos quais já citados na base conceitual desse trabalho.

Com esses dados, foram reunidas as informações necessárias para delinear o cenário atual do agreste de Pernambuco com relação ao abastecimento de água. Os dois principais mananciais responsáveis pelo abastecimento da região Agreste são as barragens do Prata e de Jucazinho (Tabela 4.1). Além destas, as cidades da região também já foram atendidas pelas barragens de Tabocas, Taquara e Poço Fundo, atualmente em colapso; e pelas barragens de Jaime Nejaim e Serra dos Cavalos, que hoje tem sua retirada impedida por questões ambientais.

Tabela 4.1 – Dados das Barragens do Prata e Jucazinho

<i>MANANCIAL</i>	CAPACIDADE TOTAL (m³)	VOLUME ATUAL (m³)	PERCENTUAL (%)	CAPTAÇÃO (m³/d)
<i>Prata</i>	42.147.000,00	26.028.278,54	61,76	60.480,00
<i>Jucazinho</i>	327.045.336,00	23.232.108,30	7,10	93.312,00
<i>TOTAL</i>	369.192.336,00	49.260.386,84	68,86	153.792,00

Fonte: Este trabalho. Dados de 01 de maio de 2015.

As cidades atendidas por esses mananciais são: Agrestina, Altinho, Bezerros, Caruaru, Cumaru, Passira, Riacho das Almas, Ameixas, Santa Cruz do Capibaribe, Surubim, Toritama, Vertentes do Lério e Vertentes, Santa Maria do Cambucá, Casinhas. Essas cidades possuem unidades de tratamento de água com uma capacidade ao todo de tratar 140 milhões de m³ por dia.

Das cidades citadas, apenas Caruaru possui dados sobre esgotos. A cidade possui uma unidade para tratamento de esgotos, e, de acordo com os dados do SNIS, coleta aproximadamente 42% do esgoto produzido na cidade.

O consumo médio *per capita* nessas cidades é de aproximadamente 94,76 litros de água por dia, sendo o da cidade de Caruaru, município com a maior população e maior rede de distribuição, de 112,27 litros por dia. E o índice médio de perdas na distribuição no ano de 2013 (mais recente registrado no SNIS) é em média 47,78% nas cidades.

Como conclusão da pesquisa realizada, pode-se elaborar um panorama da situação atual enfrentada pela gestão dos recursos hídricos. Com esse diagnóstico foram encontrados os principais problemas que cercam a região Agreste no momento:

- Ameaça de colapso dos principais mananciais;
- Altos índices de perdas;
- Inutilização dos sistemas de tratamento de esgotos;
- Pouca capacidade para tratamento dos volumes de água reservados.

- Identificação dos atores do processo

Como participantes do processo foram considerados neste trabalho todos os funcionários da GNR – Agreste Central que exercem uma posição de chefia, bem como os funcionários que participam das reuniões em nível de apoio técnico. Dessa forma, os atores são:

- Coordenador de Produção do Sistema Jucazinho;
- Coordenador de Produção do Sistema Camevô;
- Coordenador Técnico;
- Coordenador Administrativo Financeiro;
- Coordenador Comercial;
- Coordenador Regional;
- Químico;
- Assistente Social;
- Gerente de Negócios Regional do Agreste Central.

Os participantes então, foram convocados para um *workshop*, no qual eles entraram em um consenso de que, mesmo com a participação de todos, a decisão final tem que ser tomada pelo gestor local, o Gerente de Negócios Regional. Logo, a decisão abordada nesse trabalho se caracterizou como uma decisão individual, que tem o Gerente como supra decisor.

4.1.2 ETAPA 2 – Estruturação do Problema

Tendo o SODA como método base para a aplicação dessa etapa, as atividades seguintes seguem a sequência de passos que foram utilizados adaptados de Eden & Ackermann (2004a).

- *Rotulação do problema*

Seguindo o procedimento do SODA, foi realizado um *workshop* com os autores identificados, incluindo o supra decisor. E, assim que foi apresentada a proposta aos participantes, foi definido o rótulo para o problema que seria tratado. O problema escolhido para ser discutido nesse trabalho é: *continuidade do abastecimento de água em períodos de estiagem*.

- *Proposição das alternativas*

Nessa parte do processo, a figura do facilitador captou os pontos de vista formados sobre o abastecimento de água no Agreste de Pernambuco. Foram registradas a maior quantidade possível de informações relativas a objetivos, metas, valores, ações, limitações, sugestões, etc., sem necessidade de um maior detalhamento.

Os EPAs provenientes do *workshop* realizado foram: *Transposição de bacias hidrográficas, Redução do bombeamento (acionamento), Conscientização da população, Uso racional da água, Estudos de Tarifas, Bônus pela redução de consumo, Incentivos às*

tecnologias alternativas, Multa para desperdícios, Monitoramento dos sistemas, Controle da disponibilidade, Integração de sistemas adutores, Reuso de água, Redução de perdas e Obras estruturais. Os mapas cognitivos resultantes dessas informações estão representados nas Figuras 4.1 e 4.2.

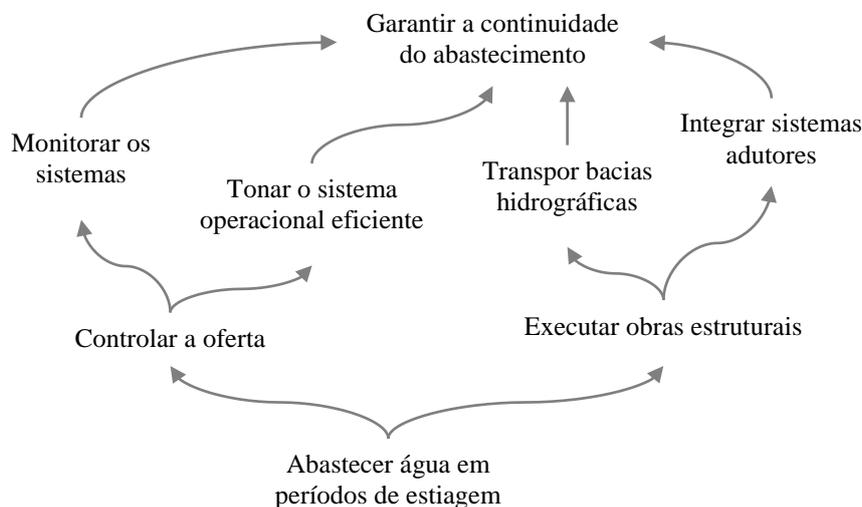


Figura 4.1 – Mapa cognitivo do grupo - OFERTA.

Fonte: Esta pesquisa, 2015.

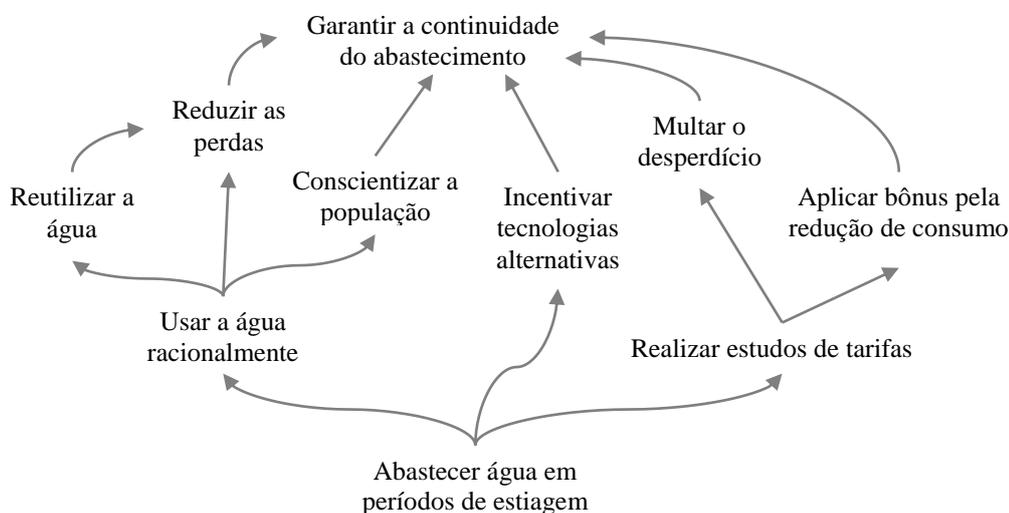


Figura 4.2 – Mapa cognitivo do grupo - DEMANDA.

Fonte: Esta pesquisa, 2015.

As alternativas elencadas, após a realização de refinamentos, colocados no modelo como *feedbacks*, a maioria deles feitos pela própria figura do decisor, ficaram assim como descritas no Quadro 4.2.

Quadro 4.2 – Alternativas do problema

ALTERNATIVA		DESCRIÇÃO	TIPO
A ₁	Adaptar sistemas para transposição de bacias	Adaptar os sistemas para permitir a transposição de água entre bacias hidrográficas. Envolve obras de construção de sistemas adutores.	Oferta
A ₂	Implantar obras para integração de adutoras	Implantar obras estruturais de extensão de adutoras para que se integrem adutoras de diferentes sistemas.	
A ₃	Monitorar os sistemas de abastecimento	Monitorar através da implantação de sistemas de automação. Observar e correlacionar os dados históricos meteorológicos com as previsões e capacidade dos mananciais.	
A ₄	Elaboração de um manual de operação dos sistemas	Consiste na criação de uma equipe que realize um estudo e desenvolva um manual com procedimentos padrão a serem executados em cada cenário possível dentro de cada SAA.	
A ₅	Criar programa para a aplicação de bônus	Implantar um programa que utilize faixas de consumo para avaliar o desempenho no consumo dos usuários e que recompense com um bônus na fatura os usuários que reduzirem o consumo para a faixa mais baixa.	Demanda
A ₆	Aplicar multa ao desperdício	Montar equipes de fiscalização para multar os casos flagrantes de desperdício por parte dos usuários. Tais como: Grandes vazamentos prediais, lavagem de calçadas, renovação de água de piscinas, e etc.	
A ₇	Incentivar o uso de tecnologias alternativas	Auxiliar e orientar os usuários no desenvolvimento e utilização de tecnologias alternativas para o consumo de água. Por exemplo: a captação de água da chuva nas residências para utilização em descargas e jardinagem.	
A ₈	Iniciar campanhas de conscientização da população	Realizar campanhas de conscientização da população sobre a importância do uso racional da água. Envolve desde campanhas publicitárias na mídia à projetos educativos junto aos usuários.	
A ₉	Aplicar programa de redução de perdas	Elaborar e aplicar um programa de redução de perdas, priorizando as perdas reais que atualmente encontram-se com um índice na faixa de 60%.	
A ₁₀	Construir sistemas de reuso de água	Construir sistemas para reaproveitamento da água utilizada durante o tratamento. Toda a água utilizada atualmente é descartada.	

Fonte: Esta pesquisa, 2015.

- Definição dos critérios

Como pode ser observado, o mapa cognitivo apresentou uma série de alternativas para o problema. Dessa forma, para a finalização do *workshop* foram obtidos os critérios pelos quais estas alternativas poderiam ser julgadas, através da indagação aos participantes. Com isso, foram sugeridos os seguintes critérios: *Custos, Retorno mais rápido, Benefício Social, Redução na demanda, Viabilidade, Tempo acrescido de uso do manancial.*

Observa-se que estando os especialistas trabalhando em diferentes áreas, com interesses conflitantes (por exemplo: a Coordenação Técnica, responsável por toda a área técnica incluindo os projetos de engenharia; e a Coordenação Administrativa Financeira, responsável pelas finanças da gerência), foram sugeridos por cada um os critérios que eram mais relevantes para a sua área de atuação (No mesmo exemplo: Viabilidade e Custos). Os critérios sugeridos por cada um, foram endossados pelos outros participantes.

Os critérios que foram apontados, após a construção do mapa cognitivo, foram analisados pelo decisor. Assim como as alternativas, os critérios sofreram refinamentos, tais como mudança no vocabulário, ou maior esclarecimento na apresentação da ideia, de acordo com as opiniões e impressões do decisor e resultaram nos cinco critérios descritos no Quadro 4.3.

Quadro 4.3 – Critérios para julgamento das alternativas do problema

CRITÉRIO		DESCRIÇÃO	MEDIDA	OBJETIVO
C ₁	Custo de implantação	Corresponde ao investimento inicial estimado para a implantação da alternativa	Valores dados em milhões de reais	Minimizar
C ₂	Tempo de resposta	Diz respeito ao tempo estimado que levará para a alternativa retornar os benefícios esperados	Valores dados em meses	Minimizar
C ₃	Benefício social	Corresponde ao benefício gerado para a população em consequência da implantação da alternativa	Valores dados em uma escala com 5 graus diferentes de benefício	Maximizar
C ₄	Redução na demanda	A quantidade de água consumida, que se prevê reduzir com a aplicação da ação	Percentual	Maximizar
C ₅	Viabilidade	Este critério está associado à complexidade da ação e sua viabilidade de execução em termos técnicos	Valores dados em uma escala com 5 diferentes graus de complexidade	Minimizar
C ₆	Acréscimo na oferta	Refere-se ao aumento na disponibilidade de água resultante da ação implantada	Valores expressos em m ³ /segundo	Maximizar

Fonte: Esta pesquisa, 2015.

Os critérios C₃ e C₅ exigem que a medição de seu desempenho seja realizada de forma subjetiva, pois há uma dificuldade de estabelecer uma medida numérica para avaliar o “Benefício Social” e a “Viabilidade” das alternativas. Para tanto, foi desenvolvida uma escala numérica de cinco pontos, que permite a transformação dos valores subjetivos referentes a estes critérios, de forma que eles possam ser incorporados ao modelo proposto. Estes critérios, portanto, precisam ser detalhados, para uma melhor compreensão. Os Quadros 4.4 e 4.5 apresentam as descrições das escalas nominais utilizadas para os critérios C₃ e C₅, respectivamente.

Quadro 4.4 – Escala de avaliação para Benefício Social (C₃)

VALOR	NÍVEL	DESCRIÇÃO
1	Muito baixo	O efeito provocado pela implantação da alternativa atinge apenas uma pequena quantidade do total da população, entre 1 e 20%.
2	Baixo	A alternativa atinge uma quantidade da população, entre 21 e 40%.
3	Moderado	A alternativa atinge por volta da metade da população, entre 41 e 60%.
4	Alto	A alternativa atinge uma quantidade da população entre 61 e 80%.
5	Muito alto	O impacto provocado pela alternativa beneficia entre 81 e 100% da população.

Fonte: Esta pesquisa, 2015.

Quadro 4.5 – Escala de avaliação para Viabilidade (C₅)

VALOR	NÍVEL	DESCRIÇÃO
1	Simple	A alternativa não exige muito esforço intelectual para execução
2	Pouco complexo	A alternativa exige um pequeno esforço intelectual para ser executada
3	Moderadamente complexo	A alternativa exige um esforço intelectual mediano para execução
4	Complexo	A alternativa necessita de razoável esforço intelectual para execução
5	Muito complexo	A alternativa necessita de um grande esforço intelectual para execução

Fonte: Esta pesquisa, 2015.

- Modelagem do problema

Nesse ponto do processo o mapa cognitivo elaborado é a base para a formulação de uma estrutura pela qual o problema poderá ser melhor compreendido. As informações provenientes do mapa foram organizadas de forma a refletir as alternativas e critérios que serão utilizadas no modelo de decisão multicritério em seguida.

Assim, foi elaborada a matriz de decisão do problema (Tabela 4.6). Foram utilizados valores de consequência estimados, considerando projetos semelhantes já aplicados anteriormente. No entanto, cada projeto pode envolver peculiaridades que alterem os valores das consequências, quando aplicado a uma situação real.

Tabela 4.6 – Matriz de consequências

	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆
A ₁	1.350,00	24	Muito Alto	0	Muito Complexo	8,00
A ₂	750,00	36	Alto	0	Muito Complexo	4,00
A ₃	8	36	Muito Baixo	0	Pouco Complexo	0,00
A ₄	2	60	Baixo	0	Moderadamente Complexo	0,00
A ₅	1,5	2	Moderado	0,2	Pouco Complexo	0,00
A ₆	0,3	1	Alto	0,3	Complexo	0,00
A ₇	1,2	60	Muito Alto	0,2	Moderadamente Complexo	0,00
A ₈	5	60	Baixo	0,1	Complexo	0,00
A ₉	100	120	Alto	0	Moderadamente Complexo	0,30
A ₁₀	1	24	Moderado	0	Moderadamente Complexo	0,00

Fonte: Esta pesquisa, 2015.

4.1.3 ETAPA 3 – Tomada de decisão

Durante o *workshop* os participantes entraram em um consenso de que, mesmo tendo uma participação na estruturação do problema, a decisão é tomada pelo gestor local, identificado no caso como o Gerente. Sendo assim, a decisão será tomada com base nas preferências desse supra decisor.

Com essa premissa, a aplicação do método foi realizada em duas reuniões com este supra decisor. No primeiro momento, foi explorada e discutida o tipo de racionalidade a ser adotado e o tipo de resultado pretendido, em outras palavras a problemática escolhida. O tipo de racionalidade foi identificado como não-compensatória, o que implicou na aplicação de um método de sobreclassificação.

Nessa etapa é, então, aplicado o método PROMETHEE, com isso são inseridos os parâmetros do modelo, para no final serem analisadas as alternativas. A segunda reunião foi feita no intuito de coletar as preferências do decisor para as avaliações realizadas pelo método.

- Filtro

A informação base para a realizar a eliminação de alternativas nessa fase é a quantidade de recursos que estariam disponibilizados para a execução das alternativas. Para este problema foi considerado apenas o orçamento da unidade gestora analisada, a GNR Agreste Central, as possibilidades de financiamento externo foram desconsideradas. O orçamento disponível para a GNR Agreste Central, informado pela gerencia como sendo de R\$ 7.200.000,00 ao ano. Assim, pode-se eliminar todas as alternativas que possuem um Custo de implantação acima desse valor (Tabela 4.7).

Tabela 4.7 – Matriz de consequências após filtro das alternativas

	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆
A ₄	2	60	Baixo	0	Moderadamente Complexo	0,00
A ₅	1,5	2	Moderado	0,2	Pouco Complexo	0,00
A ₆	0,3	1	Alto	0,3	Complexo	0,00
A ₇	1,2	60	Muito Alto	0,2	Moderadamente Complexo	0,00
A ₈	5	60	Baixo	0,1	Complexo	0,00
A ₁₀	1	24	Moderado	0	Moderadamente Complexo	0,00

Fonte: Esta pesquisa, 2015.

Observou-se que com a eliminação destas alternativas, o critério C₆ torna-se irrelevante para o julgamento das alternativas, visto que as alternativas restantes não têm valores de desempenho relevantes nesse critério. Com isso, este critério foi eliminado da avaliação. Tem-

se, então, uma nova matriz de consequências para a aplicação do PROMETHEE II, Tabela 4.8.

Tabela 4.8 – Matriz de consequências após filtro dos critérios

	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅
A ₄	2	60	Baixo	0	Moderadamente Complexo
A ₅	1,5	2	Moderado	0,2	Pouco Complexo
A ₆	0,3	1	Alto	0,3	Complexo
A ₇	1,2	60	Muito Alto	0,2	Moderadamente Complexo
A ₈	5	60	Baixo	0,1	Complexo
A ₁₀	1	24	Moderado	0	Moderadamente Complexo

Fonte: Esta pesquisa, 2015.

- PROMETHEE II

Para iniciar a primeira fase do PROMETHEE é realizada a *avaliação intracritério*. Os critérios foram apontados, após a construção do mapa cognitivo, de acordo com as opiniões dos especialistas participantes e nesse ponto do processo foram analisados pelo supra decisor. Os resultados dessa análise resultaram na informação intracritério sintetizada no Tabela 4.9.

Tabela 4.9 – Parâmetros do modelo

PARÂMETROS	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅
Pesos	8	2	10	6	4
Pesos normalizados	0,2667	0,0667	0,3333	0,2000	0,1333
Função de preferência	V	II	I	III	I
Limiares	$q = 0,5$	$q = 2$			
	$p = 1$			$p = 0,2$	

Fonte: Esta pesquisa, 2015.

Primeiramente, o decisor avaliou a importância relativa de cada critério, o critério C₃ – Benefício Social foi considerado o de maior importância e C₂ – Tempo de Resposta foi considerado o de menor importância. Esses pesos foram normalizados, utilizando o procedimento três descrito em Almeida (2013): $v'_j(a_i) = v_j(a_i) / [\sum v_j(a_i)]$. Cada grau de importância é dividido pela soma total, podendo ele ser interpretado como um percentual da soma total, sendo os valores normalizados obtidos no intervalo: $0 \leq v'_j(a_i) \leq 1$.

Em seguida, foram avaliados dentre as funções de preferência do método PROMETHEE, qual seria o mais adequado para tratar cada critério. Assim foram apresentadas aos decisor as possíveis funções, dentre as quais ele escolheu e foram colocados os respectivos limiares de indiferença e preferência.

A avaliação *intercritério*, foi executada com a utilização da edição acadêmica do software Visual PROMETHEE, versão 1.4.0.0, desenvolvido por Brans & Mareschal (2013). Primeiramente é aplicado o PROMETHEE II, no qual são construídas as relações de sobreclassificação. Após as interações, foram encontrados os fluxos de sobreclassificação líquidos de cada alternativa, resultando na pré-ordem retratada na Figura 4.3.

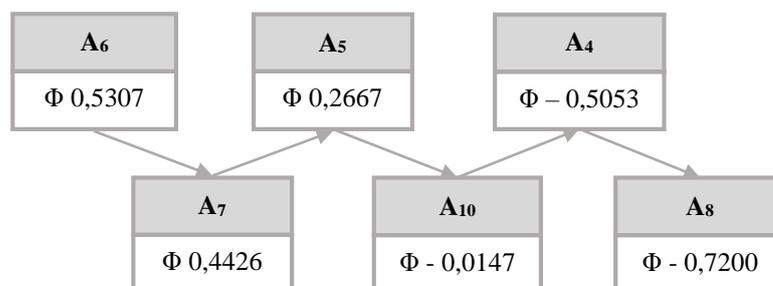


Figura 4.3 – Resultado da avaliação global.

Fonte: Esta pesquisa, 2015.

- PROMETHEE V

Por fim, para encontrar um portfólio de ações de oferta e demanda foi feita a definição dos parâmetros para o PROMETHEE V, que consiste na resolução de um problema de programação inteira 1-0, que foram:

- Uma restrição foi definida pelo decisor, referente ao orçamento de R\$ 7,2 milhões ao ano, como explicado na fase de filtro;
- Pelo modelo, foram definidas duas restrições:
 - (1) Ao menos uma alternativa de demanda deve ser escolhida; e
 - (2) Ao menos uma alternativa de oferta deve ser escolhida.
- Foi acrescentada ainda a restrição *c-ótimo*, como em Vetschera e Almeida (2012), para evitar as inconsistências de transformação de escala do PROMETHEE II para o PROMETHEE V. O valor de *c-ótimo* foi definido ao aumentar o valor de *c* até o máximo viável, diante das outras restrições. Desse modo, foi utilizado o $c = 5$.

O problema ficou assim descrito:

$$\text{Máx } - 0,5053x_1 + 0,2667x_2 + 0,5307x_3 + 0,4426x_4 - 0,7200x_5 - 0,0147x_6 \quad (4.1)$$

Sujeito a,

$$2x_1 + 1,5x_2 + 0,3x_3 + 1,2x_4 + 5x_5 + 1x_6 \leq 7,2 \quad (4.2)$$

$$x_1 \geq 1 \quad (4.3)$$

$$x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 \geq 1 \quad (4.4)$$

$$x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 = 5 \quad (4.5)$$

$$x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6 = \begin{cases} 1 & \text{se } x_i \text{ for selecionada} \\ 0 & \text{se } x_i \text{ não for selecionada} \end{cases} \quad (4.6)$$

- Análise dos resultados

Após as interações no Visual PROMETHEE edição acadêmica, com essas configurações, foi selecionado o seguinte portfólio de alternativas: A₄, A₅, A₆, A₇ e A₁₀.

Apenas a alternativa A₈ foi eliminada devido ao alto custo de implantação (R\$ 5 milhões) diante do orçamento. As alternativas selecionadas para o portfólio representam um custo total de R\$ 6.000.000,00. Assim, seriam destinados aproximadamente 83% dos recursos disponíveis para a execução das alternativas.

Considerando que apenas uma alternativa foi excluída, é preciso observar que o resultado da pré-ordenação fornecido pelo PROMETHEE II torna a aplicação do método PROMETHEE V, nesse caso específico, desnecessária. A aplicação foi realizada mesmo assim neste trabalho de forma ilustrativa, para exemplificar a aplicação do modelo. Porém em cada situação o conjunto de alternativas, bem como das restrições será diferente, podendo ou não necessitar que sejam avaliadas através do PROMETHEE V.

Ao observar os resultados, é importante considerar também que, os valores utilizados para o critério C₁ – Custo foram baseados em projetos já orçados, ou seja, não são representativos para uma aplicação real. Isso porque, dentro do espaço de cada alternativa pode haver mais de um projeto, e cada um com características que os torna únicos. Por exemplo, a alternativa A₁ - Adaptar sistemas para transposição de bacias, pode envolver um

projeto para bacia hidrográfica disponível, e cada um teria um valor diferente, a depender das circunstâncias.

Outro ponto importante analisar é o valor de c na restrição c -ótimo. A adição dessa restrição, permitiu a escolha de alternativas (A₄ e A₁₀) não seriam consideradas inicialmente pelo problema clássico do PROMETHEE V por possuírem um fluxo líquido negativo.

É necessário destacar também que, assim como se prevê no modelo, foi feito o balanceamento entre estratégias de oferta e demanda, selecionando alternativas tanto voltadas para uma estratégia, como para a outra. No caso analisado as alternativas de oferta foram em sua maioria eliminadas ainda na fase de filtro, devido à restrição orçamentária. No entanto, ainda assim uma alternativa de oferta foi selecionada no resultado final (A₄), o que confirma a robustez do modelo.

- Análise de sensibilidade

Para realizar a análise de sensibilidade, foram feitos testes alterando os pesos dos critérios $\pm 5\%$ redistribuindo os pesos para os demais critérios, obedecendo a equação (2.2) e, também, igualando todos os pesos em 0,2.

Com isso, observa-se que a pré-ordem estabelecida no PROMETHEE II sofre alterações, como pode-se ver na Tabela 4.10, apenas quanto os critérios C₂ e C₄ tem seus pesos diminuídos em 5%.

Tabela 4.10 – Resultado com pesos +5% e -5%

Ranking Inicial		C ₁				C ₂					
		+5%		-5%		+5%		-5%			
A ₄	-0,5053	A ₄	0,5532	A ₄	0,511	A ₄	0,5659	A ₅	0,5188		
A ₅	0,2667	A ₅	0,4221	A ₅	0,4606	A ₅	0,3696	A ₄	0,4952		
A ₆	0,5307	A ₆	0,2473	A ₆	0,2836	A ₆	0,2756	A ₆	0,2553		
A ₇	0,4426	A ₇	0,0097	A ₇	-0,036	A ₇	0,0194	A ₇	-0,0489		
A ₈	-0,7200	A ₈	-0,4919	A ₈	-0,5171	A ₈	-0,4974	A ₈	-0,5126		
A ₁₀	-0,0147	A ₁₀	-0,7404	A ₁₀	-0,7022	A ₁₀	-0,7331	A ₁₀	-0,7078		
C ₃		C ₄				C ₅					
+5%		-5%		+5%		-5%		+5%		-5%	
A ₄	0,5681	A ₄	0,4861	A ₄	0,5808	A ₅	0,4828	A ₄	0,5092	A ₄	0,5465
A ₅	0,4113	A ₅	0,4773	A ₅	0,4107	A ₄	0,4638	A ₅	0,3998	A ₅	0,5013
A ₆	0,2574	A ₆	0,2773	A ₆	0,2652	A ₆	0,2686	A ₆	0,3033	A ₆	0,2208
A ₇	0,0182	A ₇	-0,0531	A ₇	-0,0211	A ₇	-0,0072	A ₇	-0,0097	A ₇	-0,0207
A ₈	-0,5175	A ₈	-0,4878	A ₈	-0,5274	A ₈	-0,4727	A ₈	-0,4897	A ₈	-0,5167
A ₁₀	-0,7376	A ₁₀	-0,6998	A ₁₀	-0,7082	A ₁₀	-0,7353	A ₁₀	-0,7129	A ₁₀	-0,7311

Fonte: Esta pesquisa, 2015.

Uma pequena alteração surge entre as ordens das alternativas A₆ e A₇ ao igualar todos os pesos em (Tabela 4.11).

Tabela 4.11 – Resultado com pesos igualados em 2%

POSICÃO	ALTERNATIVA	Φ
1	A₆	0,4480
2	A₅	0,4400
3	A₇	0,2320
4	A₁₀	0,0040
5	A₄	-0,4440
6	A₈	-0,6800

Fonte: Esta pesquisa, 2015.

O portfólio de alternativas dado pelo PROMETHEE V, no entanto, permaneceu o mesmo em todas as situações, o que comprova a robustez da solução.

4.2 Considerações finais sobre o capítulo

Este capítulo apresentou a aplicação do modelo proposto. A aplicação foi realizada de maneira satisfatória no contexto do Agreste de Pernambuco. Foram levantadas as informações e identificados os atores do processo, sendo estes os funcionários da Gerência Regional, cada um com diferentes especialidades. Foi nomeado por estes o líder, como sendo o supra decisor.

Além disso, foi realizado o *workshop*, com a participação dos atores, incluindo o supra decisor. Na ocasião foi definido problema e foram elaborados dois mapas cognitivos, para geração de alternativas dentro das estratégias de oferta e demanda. Foram também definidos os critérios através dos quais as alternativas serão avaliadas.

A avaliação foi feita inicialmente através do filtro, que eliminou quatro alternativas e um critérios. Em seguida foi aplicado o método PROMETHEE II, que resultou numa ordenação das alternativas restantes.

Por fim, foi aplicado o PROMETHEE V, que resultou em um portfólio com cinco alternativas que, considerando as restrições, podem ser aplicadas pela GNR – Agreste Central, para proporcionar a continuidade do abastecimento de água à população, mesmo com as mudanças climáticas resultantes da estiagem provocadas pelos dos ciclos de secas. Observa-se também que as soluções refletiram na aplicação de uma estratégia mista, onde as alternativas selecionadas correspondem a estratégias de gestão voltadas tanto para a oferta, como para a demanda de água, confirmando a robustez do modelo proposto, que exige por meio das restrições a seleção de ao menos uma estratégia de cada tipo.

5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Neste capítulo são apresentadas as principais conclusões obtidas ao longo do desenvolvimento do trabalho, como também as sugestões para a realização de trabalhos futuros.

5.1 Conclusões

A preocupação com os recursos hídricos é uma questão que atinge todos os níveis de organizações (governamentais, sociais, corporativas). Isso porque a água é um recurso determinante na sobrevivência da maioria das espécies. Além disso, a água sempre foi entendida também como um fator decisivo no desenvolvimento de qualquer região.

O Agreste de Pernambuco é uma região que se encontra em uma fase de desenvolvimento econômico, entretanto, o conseqüente aumento da demanda por água pode ser um dos principais limitantes para o crescimento da região e, também, para a preservação dos recursos hídricos nela contidos. Além do mais, essa região apresenta uma estrutura geográfica desfavorável, um comportamento climático variável e ainda está vulnerável aos impactos das mudanças climáticas. Com este intuito, o presente trabalho objetivou selecionar alternativas de abastecimento de água realizando um balanceamento entre as estratégias de oferta e de demanda de água, e aplicou o modelo na região do Agreste de Pernambuco, buscando soluções para a continuidade do abastecimento.

No que concerne a escala mais operacional, gestão dos recursos hídricos é competência de uma companhia estadual responsável pelas principais decisões sobre o abastecimento de água. Com relação à atitude da companhia de saneamento, nessa pesquisa foi identificado que a estrutura atual de gestão de recursos hídricos no Agreste de Pernambuco está voltada sobretudo para gestão da rotina e de gestão da oferta de água. As ações em termos de gestão da demanda ainda estão em um nível embrionário e não figuram nas prioritariamente nos valores e atitudes dos especialistas e decisores.

Nesse sentido, foram descritos os conceitos principais relacionados à gestão dos recursos hídricos e o problema foi explorado com a utilização de uma abordagem formal para a estruturação do problema, o SODA. Com isso, foi possível a construção de um conhecimento sobre o problema de abastecimento de água organizado de forma clara, para

que se pudesse apoiar as decisões de forma que os critérios sejam respeitados e os objetivos atingidos.

É válido ressaltar devido à restrição orçamentária, algumas alternativas foram desconsideradas na etapa de Filtro. Isso evidencia a precariedade dos investimentos nessa área, principalmente para a aplicação de soluções de longo prazo. Muitas ações, dependem assim a possibilidade de adquirir recursos por meio de programas de entidades financiadoras, como o Banco Mundial, ou até mesmo do Governo Federal o que proporcionaria um alcance maior em termos financeiros para a implantação das alternativas.

Além disso, foi aplicado o PROMETHEE que permitiu inicialmente uma ordenação das alternativas, e em seguida a seleção de um portfólio dentre as alternativas. Embora seja preciso deixar claro que a aplicação do método para a seleção do portfólio foi feita de forma ilustrativas, apenas para demonstrar a aplicação do modelo proposto, visto que, para o caso específico não era necessária, mas em outras situações com alternativas e restrições diferentes pode ser aplicado mantendo a robustez do modelo.

Com a aplicação do modelo, pode-se concluir que a utilização de um método estruturado é capaz de auxiliar satisfatoriamente um processo de decisão. E, mais importante, fornece para a empresa um respaldo e uma justificativa para os cursos de ação tomados pelo gestor.

Mais um ponto que pode ser destacado, é que durante a execução da pesquisa, foi perceptível também o interesse dos participantes em estudo que vise o desenvolvimento de mecanismos que apoiem o processo de tomada de decisão na empresa. Os participantes afirmaram não ter participado de processo semelhante anteriormente, ademais foram abordados durante um momento crítico, no qual o problema discutido já está surtindo efeitos negativos. Com isso, tanto os especialistas, como o decisor se encontram num ambiente de cobranças constantes, discussões acaloradas e exaustão, afetando a todos. Mesmo assim, durante o *workshop*, o anseio em contribuir foi visível. Esse tipo de comportamento reforça a necessidade de pesquisas desenvolvidas com esse objetivo, de apoiar a tomada de decisão.

No entanto, é importante compreender que mesmo com a atitude dos atores sendo muito participativa e mesmo que a aplicação do modelo junto à empresa gestora tenha despertado um interesse na incorporação de uma abordagem semelhante no dia-a-dia das decisões da instituição, essa é uma realidade ainda distante. Existem barreiras culturais no ambiente

interno da organização que dificultam a implantação de qualquer medida nesse sentido, podemos destacar a cultura paternalista como sendo uma das principais.

Apesar disso, é possível visualizar, através do contato com os funcionários, uma possível evolução na forma de pensar coletiva que pode levar a uma mudança no longo prazo na forma de agir da organização. Com isso, espera-se que o desenvolvimento e aplicação de estudos como esse leve a um caminho no qual decisões tomadas baseadas em “tentativa e erro” sejam substituídas por decisões mais robustas e bem estruturadas.

5.2 Sugestões para Trabalhos Futuros

De maneira geral sugere-se a continuidade desta pesquisa com a realização da aplicação num momento em que ocorram problemas na empresa, e que as alternativas estejam compostas por projetos já elaborados e orçados. Além disso, sugere-se o aprimoramento da pesquisa com a utilização de uma abordagem para a convergência dos valores grupais na decisão, considerando situações onde a decisão é caracterizada como sendo de um grupo, por não haver um consenso de que a decisão deve ser tomada por apenas um decisor, como foi o caso desse estudo.

Propõe-se também a aplicação desse problema particionando as alternativas que foram eliminadas em pequenas ações a serem executadas por etapas, caso seja possível. O custo de implantação total das alternativas não seria assim aplicado de uma vez. Ao dividir em pequenas ações, o custo de implantação seria dividido também. Visto que, o recurso disponível é base de um orçamento anual, seria possível a aplicação de algumas alternativas em um ano, e das outras em um ano subsequente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, A. T. *Processo de decisão nas organizações: construindo modelos de decisão multicritério*. São Paulo: Atlas, 2013.

____ & COSTA, A. P. C. S. Modelo de decisão multicritério para priorização de sistemas de informação com base no método PROMETHEE. *Gest. Prod.* 9 (2): 201-214, 2002.

____; MORAIS, D. C.; COSTA, A. P. C. S.; ALENCAR, L. H.; DAHER, S. DE F. D. *Decisão em grupo e negociação: métodos e aplicações*. São Paulo: Atlas, 2012. p. 166-185.

____ & VETSCHERA, R. A note on scale transformations in the PROMETHEE V method. *Eur. J Opera Res.* 219:198–200, 2012.

ASA Brasil. Semiárido. 2014. Disponível em: < http://www.asabrasil.org.br/Portal/Informacoes.asp?COD_MENU=105>. Acesso em: 19 jan 2015.

BANA E COSTA, C. A. & VANSNICK, J.-C.; MACBETH – An integrate path towards the construction of cardinal value functions. *International Transactions in Operational Research.* 1(4): 489-500, 1994.

BELTON, V. & STEWART, T. *Multiple Criteria Decision Analysis: an integrate approach*. 1 ed. Springer, 2002. p. 35-77.

BOGDAN, R.C. & BIKLEN, S. K. *Investigação qualitativa em educação*. Porto Editora, LTDA, 1994.

BRANS, J. P.; MARESCHAL, B; VINCKE, P. H. PROMETHEE: a new family of outranking methods in multicriteria analysis. In: BRANS, J. P. (editor), *Operational Research*, IFORS 84: 477--490. North Holland: Amsterdam, 1984.

____ & VINCKE, P. H. A preference ranking organization method. *Management Science*, 31(6):647-656, 1985.

____; ____; MARESCHAL, B. How to select and how to rank projects: the PROMETHEE method. *European Journal of Operational Research.* 24: 228-238, 1986.

BRASIL. Ministério da Saúde. *Manual de saneamento*. 3. ed. rev. - Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2006. 408 p.

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. *Snis.exe*. Série Histórica, 2010a. 60 arquivos, 12 pastas (243mb). Disponível em: < <http://www.cidades.gov.br/serieHistorica/>>. Acesso em: 07 de janeiro de 2014.

BROOKS, D. B. An operational definition of water demand management. *Water Resource Dev.* 22(4): 521-528, 2006.

- BUTLER, D. & MEMON, F.A. *Water demand management*. IWA Publishing, London, 2006.
- CMMAD. Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento. *Nosso Futuro Comum*. Rio de Janeiro: Editora da Fundação Getúlio Vargas, 1988. 430p.
- CAMBRAINHA, G. M. G. & FONTANA, M. E. Análise da aplicação de investimentos em perdas de água no nordeste brasileiro. *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*. Aceito para publicação em 2015.
- _____; MACHADO, F. O.; MUNIZ, J. A. *A Gestão Ambiental na Perspectiva de Quem Trabalha no Operacional: Um Caso Em Estação De Tratamento De Água*. Anais do III SINGEP e II S2IS. São Paulo, novembro de 2014.
- CARVALHO, D. F. de C. & SILVA, L. B. D. da. *Hidrologia*. UFRRJ, 2006.
- CHECKLAND, P. Soft Systems Methodology. In: ROSENHEAD, J. & MINGERS, J. (Eds.). *Rational analysis for a problematic world revisited*. 2. ed. Chichester: John Wiley, 2004.
- CIRILO, J. A. Políticas públicas de recursos hídricos para o semiárido. *Estudos Avançados*. 22 (63): 61-82, 2008.
- _____; MONTENEGRO, S. M. G. L.; CAMPOS, J. N. B. *A questão da água no semiárido brasileiro*. In: Águas do Brasil: análises estratégicas. BICUDO, C. E. de M.; TUNDISI, J. G.; SCHEUENSTUHL, M. C. B. São Paulo, Instituto de Botânica, 2010. 224p
- COUSINS, J. J. & NEWELL, J. P. A political–industrial ecology of water supply infrastructure for Los Angeles. *Geoforum*. 58: 38-50, 2015.
- DOLCI, P. C.; RIBEIRO, J. L. D.; MAÇADA, A. C. G. M. Gestão dos investimentos em TI baseado na Gestão de Portfólio de TI (GPTI). *Espacios*. 33 (11): 4, 2012.
- EDEN, C. Cognitive mapping: a review. *European journal of Operational Research*. 36: 1-13, 1988.
- _____ & ACKERMANN, F. SODA. The Principles. In: ROSENHEAD, J. & MINGERS, J. (Eds.). *Rational analysis for a problematic world revisited*. 2. ed. Chichester: John Wiley, 2004a.
- _____ & _____. Cognitive mapping expert views for policy analysis in the public sector. *European Journal of Operational Research*. 152: 615–630, 2004b.
- EDWARDS, W. & BARRON, F. H. SMARTS and SMARTER: Improved Simple Methods for Multiattribute Utility Measurement. *Organizational Behavior and Human Decision Process*. 60: 306-325, 1994.

FONTANA, M. E. & MORAIS, D. C. Group Decision Model to Support the Survey of Alternatives Applied for Participatory Democracy. In: Proc. IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, 2013.

_____ & _____. Using Promethee V to Select Alternatives so as to Rehabilitate Water Supply Network with Detected Leaks. *Water Resource Manage.* 27:4021-4037, 2013.

_____; _____; ALMEIDA, A. T. de. A mcdm model for urban water conservation strategies adapting simos procedure for evaluating alternatives intra-criteria. In: *Evolutionary multi-criterion optimization*. Berlin: Springer-Verlag Berlin, 2011 p. 564-578.

FRIEND, J. The strategic choice approach. In: ROSENHEAD, J. MINGERS, J. (Eds.). *Rational Analysis for a Problematic World Revisited*. 2nd Ed. Chichester: John Wiley & Sons ltd, 2004.

GIL, A.C. *Métodos e técnicas de pesquisa social*. São Paulo: Atlas, 1999.

GLOBAL WATER PARTNER. Water demand management: the Mediterranean experience. Technical focus paper 1. *Blue Plan and Global Water Partnership*, 2012.

GODOY, A. S. Introdução à pesquisa qualitativa e suas possibilidades. In: *Revista de Administração de Empresas*. 35 (2): 57-63, 1995.

HERSTEIN, L. H; FILION, Y. R.; HALL, K. R. Water Distribution System Design and Environmental Impact: Balancing Local Interests with Broader Regional Concerns. *Proceedings of the 10th Annual Water Distribution Systems Analysis Conference WDSA2008*, VAN ZYL, J.E., ILEMOBADE, A.A., JACOBS, H.E. (Eds.). Kruger National Park, South Africa, August 17-20, 2008.

IBGE. *Censo Demográfico 2010*. Brasil, 2010. Disponível em: < <http://censo2010.ibge.gov.br/pt/censo-2010>>. Acesso em: 25 novembro 2014.

KEENEY, R. & RAIFFA, H. *Decisions with Multiple Objectives: Preference and value Trade Off*. Wiley: New York, 1976.

LEVINO, N. de A. & MORAIS, D. C. *Problem Structuring Model for Hydrographic Basin Committee*. In: Proc. IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC) 998-1003, 2010.

_____ & _____. *Participatory Multicriteria Decision Making Model in Hydrographic Basin Committee*. In: Proc. IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics 605-610, 2012.

MAVROTAS, G.; DIAKOULAKI, D.; CALOGHIROU, Y. Project prioritization under policy restrictions: a combination of MCDA with 1-0 programming. *European Journal of Operational Research*. 171(1): 296-308, 2006.

- MAY, P. H. & VINHA, V. da. Adaptation to climate change in Brazil: The role of private investment. *Estudos Avançados* [online]. 26 (74): 229-246, 2012.
- MERRIAM, S. B. *Qualitative research and case study applications in education*. San Francisco: Jossey-Bass Publishers, 1998.
- MILLER, K. A. Adaptation Theme Report: Improving Water Resource Management. In: *MCA4climate: A practical framework for planning predevelopment climate policies*. 2011
- _____ & BELTON, Valerie. Water resource management and climate change adaptation: a holistic and multiple criteria perspective. *Mitig Adapt Strateg Glob Change*, 19: 289-308 Jan 2014.
- MORAIS, D. C.; ALMEIDA, A. T. de; FIGUEIRA, J. R. A Sorting Model for Group Decision Making: A Case Study of Water Losses in Brazil. *Group Decision Negotiation*. 23: 937-960, 2014.
- ROSENHEAD, J. What's the Problem? An Introduction to Problem Structuring Methods. *Interfaces*. 26 (6): 117-131, 1996.
- ROY, B. The outranking approach and the foundations of Electre methods. *Theory and Decision*. 31: 49-73, 1991.
- SAATY, T. L. *The Analytic Hierarchy Process*. McGraw-Hill: New York, 1980.
- SCARATTI, D.; MICHELON, W.; SCARATTI, G. Avaliação da eficiência da gestão dos serviços municipais de abastecimento de água e esgotamento sanitário utilizando Data Envelopment Analysis. *Eng Sanit Ambient*, 18 (4):333-340, out/dez 2013.
- SEGRAVE, A. J.; ZOUWEN, M. W.; VIERSEN, W. van. Water planning: From what Time Perspective? *Technological Forecasting & Social Change*, 86: 157–167, 2014.
- SOUZA FILHO, F. A. & PORTO, R. L. L. *Gerenciamento de Recursos Hídricos e a Variabilidade Climática nos Semiáridos Brasileiros*. In: Proc. XV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2003, Curitiba. Gerenciamento de Recursos Hídricos e a Variabilidade Climática nos Semiáridos Brasileiros. Porto Alegre: ABRH, 2003.
- URTIGA, M. M. B. de A.; SILVA FILHO, J. L. e; GUIMARÃES, L. A.; MORAIS, D. C. *Modelo de alocação e negociação de recursos hídricos em regiões semiáridas*. In: Proc. XXXIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. A Gestão dos Processos de Produção e as Parcerias Globais para o Desenvolvimento Sustentável dos Sistemas Produtivos. Salvador, BA, Brasil, 08 a 11 de outubro de 2013.
- VERGARA, S. C. *Projetos e relatórios de pesquisa em administração*. Atlas: São Paulo, 1997.
- VETSCHERA, R. & ALMEIDA, A. T. de. A PROMETHEE-based approach to portfolio selection problems. *Compute Oper Res*. 39:1010-1020, 2012.

VINCKE, P. *Multicriteria Decision Aid*. Jonh Wiley and Sons: Bruxelles, 1992.

WANG, X-J.; ZHANG, J-Y.; HE, R.; AMGAD, E.; SONDOSS, E.; SHANG, M. A strategy to deal with water crisis under climate change for mainstream in the middle reaches of Yellow River. *Mitig Adapt Strateg Glob Chang*. 16 (5): 555-566, 2011.

_____; _____; SHAHID, S; HE, R-M; XIA, X-H; MOU, X-L. Potential impact of climate change on future water demand in Yulin city, Northwest China. *Mitig Adapt Strateg Glob Chang*. 20(1): 1-19, 2012.

_____; _____; _____; _____; GUAN, E-H.; WU, Y-X.; GAO, J. Adaptation to climate change impacts on water demand. *Mitig Adapt Strateg Glob Change*. Jun 2014.

WILLIAMS, B. *Soft Systems*. The Kellogg Foundation, 2005.

YIN, R. K. *Estudo de Caso: planejamento e métodos*. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.