

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E SISTEMAS

CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO



0.247.338-9

UFSC-BU

ANGELA MARIA ATHERINO SCHMIDT

**PROCESSO DE APOIO À TOMADA DE DECISÃO
ABORDAGENS: AHP E MACBETH**

**Dissertação submetida à Universidade Federal de Santa Catarina para a
obtenção do Grau de Mestre em Engenharia**

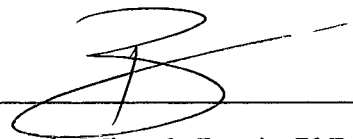
Florianópolis

Dezembro/1995

**PROCESSO DE APOIO À TOMADA DE DECISÃO
ABORDAGENS: AHP E MACBETH**

ANGELA MARIA ATHERINO SCHMIDT

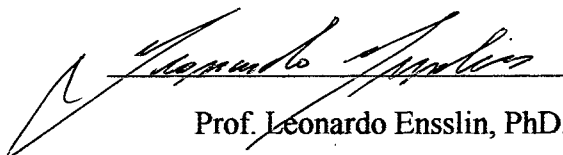
Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de **Mestre em Engenharia**
Especialidade em Engenharia de Produção e aprovada em sua forma final pelo
Programa de Pós-Graduação



Prof. Ricardo Miranda Barcia, PhD.

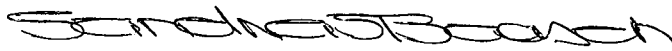
Coordenador do Curso

Banca Examinadora:

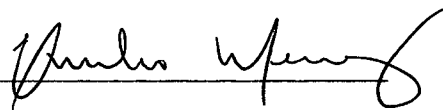


Prof. Leonardo Ensslin, PhD.

Orientador



Prof^a. Sandra Sulamita Nahas Baasch, Dr^a.



Prof. Emílio Araújo Menezes, Dr.

*"Escolher e preferir
são tarefas que
o decisor tem de exercer por si próprio
ninguém pode realizá-las por ele,
ninguém pode tomar o seu lugar.
Mesmo quando, em desespero,
ele se abandone ao destino e
decida nada decidir."*

(Felony, 1982)

pelos meus irmãos, cunhados, e sobrinhos,
pelo amor e dedicação

mãe.

A tia Myriama, que é minha segunda

infante amor.

pelos meus pais, Avós e Cudócia, pelo

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a minha família, aos meus pais, Arno e Eudócia pelos conselhos e incentivos em todos os momentos dessa jornada. À tia Kyrana, pela incansável dedicação. Aos meus irmãos, cunhados e sobrinhos que sempre me apoiaram. À minha irmã Ana, particularmente, o meu agradecimento pelo carinho e apoio incondicional e incansável em todos os momentos. Ao Alcides pelo apoio e colaboração.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo suporte financeiro sem o qual não teria sido possível realizar este trabalho.

Ao meu orientador, Prof. Leonardo Ensslin, pela orientação e acompanhamento do trabalho.

À Prof^a. Sandra Sulamita, e ao Prof. Emílio, pelas sugestões apresentadas ao presente trabalho.

Ao amigo, Sandré G. Macedo, pelo apoio, paciência e incentivo dado no transcorrer deste estudo.

Aos meus amigos pela paciência e apoio constante.

À todos os amigos conquistados durante o curso, e em especial aqueles que tornaram possível as aplicações das metodologias.

Ao Rodrigo B. Mello, pelo desenvolvimento do "Abstract" da dissertação.

Aos professores, funcionários e colegas do Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas da Universidade Federal de Santa Catarina (EPS/UFSC), pelo apoio conferido durante o período de vínculo à esta instituição.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS E TABELAS E GRÁFICOS	viii
RESUMO	x
ABSTRACT	xi
CAPÍTULO 1	
1 - Introdução	1
1.1 - Origem do Trabalho	6
1.2 - Objetivos do Trabalho	7
1.3 - Metodologia do Trabalho	8
1.4 - Estrutura do Trabalho	9
CAPÍTULO 2	
AHP	
Processo Analítico Hierárquico	10 →
2 - Introdução	10
2.1 - AHP - Analytic Hierarchy Process	11
2.1.1 - Fluxograma Geral do AHP	14
2.2 - Fase de Estruturação	15
2.2.1 - Sistema de Decisores	16
2.2.2 - Cenário	17
2.2.3 - Objetivo dos Decisores	18
2.2.4 - Sistema de Ações	18
2.2.5 - Noção de Ponto de Vista	19
2.2.6 - Construção da Hierarquia	21
2.2.7 - Hierarquia em Ambiente Dinâmico	23 →
2.3 - Fase de Avaliação	26
2.3.1 - Medida de Julgamento e Consistência	27
2.3.1.1 - Julgamentos	27
2.3.1.2 - Método de Comparação Par-a-Par	29
2.3.1.3 - Matriz de Julgamento - Consistência e Inconsistência	30
2.3.2 - Prioridades	36
2.3.2.1 - Princípio da Composição da Hierarquia	36
2.3.2.2 - Método do Autovetor e Autovalor	37

2.4 - Vantagens do Método	39
2.5 - Limitações do Método	40
2.6 - Áreas de Pesquisa	41
2.7 - Conclusão	48
Capítulo 3	
MACBETH	
Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique	49
3 - Introdução	49
3.1 - MACBETH	50
3.2 - Fase de Estruturação	52
3.2.1 - Identificação dos Pontos de Vista Fundamentais (PVF's)	53
3.2.2 - Operacionalização dos Pontos de Vista	56
3.2.2.1 - Níveis de Impacto - Escala de Impacto	56
3.2.3 - Importância Relativa dos Pontos de Vista Fundamentais	58
3.3 - Modelo MACBETH para Análise	61
3.3.1 - Julgamento - Avaliação das Preferências dos Decisores	61
3.3.2 - Modelo Matemático	62
3.3.3 - Quantificação dos Julgamentos	63
3.3.4 - Construção da Escala Numérica	64
3.3.5 - Consistência	65
3.3.5.1 - Condição de Consistência	66
3.3.5.2 - Condição de Coerência Semântica	66
3.3.5.3 - Condição de Coerência Teórica	71
3.4 - Fase de Avaliação	72
3.4.1 - Avaliação das Propostas	72
3.4.1.1 - Avaliação Parcial das Propostas	72
3.4.2 Seleção do Método Multicritério de Agregação	74
3.4.1.2 - Avaliação Global das Propostas	74
3.4.3 - Determinação dos Coeficientes de Ponderação	75
3.5 - Conclusão	77
Capítulo 4	
Aplicação da Metodologia AHP	78
4 - Introdução	78
4.1 - Decomposição e Hierarquização	80
4.2 - Julgamento - Ordenação dos Critérios	84

4.3 - Princípio de Composição das Prioridades	88
4.4 - Análise de Sensibilidade	90
4.5 - Conclusão	93
Capítulo 5	
Aplicação da Metodologia MACBETH	94
5 - Introdução	94
5.1 - Decomposição do Problema	95
5.2 - Hierarquização dos Pontos de Vista	100
5.3 - Determinação dos Coeficientes de Ponderação	101
5.4 - Análise de Sensibilidade	106
5.5 - Conclusão	109
Capítulo 6	
Conclusões e Recomendações	110
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	114
ANEXOS	
Anexo 1 - Técnica Delphi	
Anexo 2 - Aplicações do AHP	
Anexo 3 - Comparação Entre os Quatro Métodos Simplificados Apresentados por SAATY para Calcular as Matrizes de Julgamento	
Anexo 4 - Listagem da Execução do Programa	

LISTA DE FIGURAS, TABELAS E GRÁFICOS

Figura 2.1 - Fluxograma Geral do AHP	14
Figura 2.2 - Resumo da Relação Entre Três Componentes para a Construção da Hierarquia	22
Figura 2.3 - Estrutura Hierárquica Básica	23
Figura 3.1 - Estrutura Arborescente Básica	55
Figura 3.2 - Matriz de Ordenação dos Níveis	58
Figura 3.3 - Matriz de Julgamento dos Níveis	58
Figura 3.4 - Importância Relativa dos PVF's	59
Figura 3.5 - Matriz de Julgamento	62
Figura 3.6 - Intervalo R da Categorias de Julgamento	63
Figura 3.7 - Variáveis $\alpha(a,b)$ e $\beta(a,b)$ para CK ($K \neq 6$)	70
Figura 3.8 - Fluxograma do Processo Iterativo	71
Figura 3.9 - Quadro de Impacto das Alternativas	73
Figura 3.10 - Matriz de Julgamento	73
Figura 4.1 - Hierarquização do Problema Proposto	83
Figura 5.1 - Estrutura dos Pontos de Vista	100
Figura 5.2 - Comparação dos Pontos de Vista	101
Tabela 2.1 - Escala de Julgamentos	30
Tabela 2.2 - Índices Randômicos	35
Tabela 3.1 - Escala Semântica de Julgamento MACBETH	63
Tabela 4.1 - Composição das Prioridades	88
Tabela 5.1 - Matriz de Ordenação dos PV's	101
Tabela 5.2 - Matriz de Julgamento dos PV's	102
Tabela 5.3 - Escala MACBETH	103
Gráfico 4.1 - Aperfeiçoar a Competitividade versus Formação Competitiva	90
Gráfico 4.2 - Aperfeiçoar a Competitividade versus Qualificação para Pesquisa	91
Gráfico 4.3 - Aperfeiçoar a Competitividade versus Contribuição para a Comunidade	92
Gráfico 5.1 - Coeficiente de Ponderação Local de cada PVF, Segundo o Juízo dos Decisores	104

Gráfico 5.2 - Coeficiente de Ponderação Global dos PVF's	105
Gráfico 5.3 - Aperfeiçoar a Competitividade versus Remuneração (Bolsa)	106
Gráfico 5.4 - Aperfeiçoar a Competitividade versus Qualificação para Pesquisa	106
Gráfico 5.5 - Aperfeiçoar a Competitividade versus Formação Competitiva	107
Gráfico 5.6 - Aperfeiçoar a Competitividade versus Qualidade das aulas	107
Gráfico 5.7 - Aperfeiçoar a Competitividade versus Contribuição para Comunidade	107
Gráfico 5.8 - Aperfeiçoar a Competitividade versus Renome do Curso	108

RESUMO

O processo de tomada de decisão é um processo subjetivo, que o decisor exerce através da percepção e do julgamento sob o seu ponto de vista. Tomar decisão é uma tarefa que requer conhecimento, segurança e coerência.

No início dos anos 70, uma nova fase do processo de apoio à decisão começou a tomar forma. A escassez dos recursos (financeiros, humanos, etc), e o ônus crescente destes recursos fizeram com que os interesses se voltassem para os domínios dos multicritérios. Os métodos multicritérios de apoio à decisão caracterizam-se principalmente pela capacidade de analisar problemas incorporando critérios, tanto quantitativos como qualitativos, e que, muitas vezes são conflitantes entre si. Baseiam-se no princípio que para a tomada de decisão a experiência e o conhecimento são pelo menos tão valiosos quanto os dados utilizados. Duas escolas multicritérios foram criadas paralelamente, a Escola Americana e a Francesa, e sob os princípios destas escolas muitos métodos foram desenvolvidos. Dentre eles, o AHP (Analytic Hierarchy Process) e o MACBETH (Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique). O primeiro fundamentado na Escola Americana, e o segundo na Escola Francesa.

Ambas as metodologias se baseiam em dois princípios básicos: estruturação e avaliação. Ajudam o decisor a analisar e a sintetizar as informações. Facilitam a comunicação e o entendimento entre eles. São métodos flexíveis, vão se adaptando às mudanças que ocorrem durante o processo de seleção, aumentando assim a objetividade e eficiência no momento da decisão.

O AHP caracteriza-se pela capacidade de analisar o problema de tomada de decisão através da construção de níveis hierárquicos e a comparação par-a-par dos níveis da hierarquia.

O MACBETH é um método interativo, que auxilia a construção de uma escala cardinal. As preferências são determinadas de forma semântica, e a seguir através de programação linear são transformadas numa escala de valores numéricos.

As teorias são apresentadas de forma detalhada, seguidas de aplicações que permitem mostrar objetivamente como utilizar as técnicas. Enfoca-se a importância dos métodos na tomada de decisão, e verificam-se as diferenças fundamentais entre elas.

ABSTRACT

The decision-making process is a subjective one, in which the decision-maker uses perceptions and value judgements. Making a decision is task that demands knowledge, security and coherence.

By the beginning of the 70's, a new stage in the decision-making supporting process began to take shape. The shortage of resources (financial, human, etc), as well as the increasing onus of these resources, turned the attention to multicriterion domains. Multicriterion methods supporting decision-making are characterized by their capacity to analyze problems, utilizing both qualitative and quantitative criteria, that are, in many cases, in conflict with each other. They are supported by the principle that in order to make a decision, previous knowledge and experience are just as valuable as the data gathered. Two multicriterion schools - the American and the French school - were created at the same time, and guided by the principles of both, many new methods have been developed. Among them, are the AHP (Analytic Hierarchy Process) and the MACBETH (Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique). The former is based on the American School, and the latter, on the French School.

Both methodologies have two underlying principles: structuring and evaluation.

These methods help the decision-maker to analyze the information, while facilitating communication and understanding between. They are also flexible methods, which adapt to changes that occur during the selection process, so as to increase objectivity and efficiency of at the moment of decision-making.

The AHP method is characterized by its capacity to analyze the decision-making problem by building hierarchy levels and comparing these levels.

MACBETH is an interactive method that helps to construct a cardinal scale. Preferences are semantically determined, and later, through linear programming, are transformed into a numerical value scale.

The theories are presented in detail, followed by examples of their application, that show objectively how to use these techniques. This dissertation focuses on the importance of the decision-making methods and verifies the major differences between them.

Capítulo 1

INTRODUÇÃO

Desde os primórdios, o homem sempre teve que tomar decisões, fossem elas conscientes ou inconscientes, racionais ou irracionais. A todo instante é colocado numa posição onde é necessário decidir, optar, tomar uma posição frente a uma ou várias escolhas. O homem está sempre se confrontado com as mais diferentes situações que necessitam de uma decisão. A tomada de decisão é um procedimento comum que faz parte da vida diária. Mesmo que, na maior parte do tempo, estas sejam feitas quase que inconscientemente.

Não se tem conhecimento de exatamente quando pela primeira vez, o homem decidiu estudar os princípios econômicos para subsidiar o processo decisório. Entretanto, sabe-se que, antes dos anos 40, já existiam pesquisadores e estudiosos, tais como Adam Smith (1776), o general prussiano Carl Von Clausewitz (1780-1831), Frederick Taylor, F. W. Harris (1915), entre outros que contribuíram direta ou indiretamente para o desenvolvimento desta área, preocupados com a racionalidade do processo decisório.

Até o final dos anos 40, a tomada de decisão era feita através de análises criteriosas, efetuadas com base em princípios econômicos. Entretanto, existia um distanciamento entre a prática de decisão e os princípios econômicos. Conforme LEZANA (1984), este distanciamento era provocado por três fatores fundamentais:

- A teoria econômica estava mais preocupada com os problemas da economia como um todo, do que com os problemas das unidades micro-econômicas básicas (das empresas);
- Os conceitos econômicos, em geral, eram encarados como os resultados de teorias baseadas em suposições extremamente simplificadas da realidade e, ao mesmo tempo, demasiado complicados para serem utilizados pelos homens de negócios;
- As vantagens do trabalho em equipes multidisciplinares não eram, na época,

suficientemente conhecidas e divulgadas.

A partir do início da década de 50, aumentou o interesse em eliminar ou pelo menos minimizar este distanciamento. Muitos estudos foram feitos no sentido de aproximar os princípios econômicos com a prática do processo decisório.

O conhecimento adequado de métodos de análise de alternativas, tornou-se importante para uma série de decisões empresariais e governamentais ligadas à escolha de projetos. A aplicação de técnicas de análise econômica ajudavam a decidir o curso de ação, que melhor encontrasse o critério de desempenho técnico e o uso do capital escasso de maneira prudente.

Desde o início dos anos 60, esta área tem experimentado um desenvolvimento significativo, e tem se constituído numa síntese dos temas originalmente tratados pela matemática financeira, pela estatística e pela pesquisa operacional.

Com o desenvolvimento das técnicas de análise de custo-benefício, passou-se a considerar outros aspectos da realidade, isto é, passou-se a considerar alguns problemas de natureza qualitativa, adicionando variáveis relacionadas à preservação ambiental, fatores sociais, etc. No entanto, a análise custo-benefício traduz cada aspecto sob análise em valor financeiro, e no final todos os aspectos são comparados por um único critério. A técnica de análise custo-benefício faz parte do grupo de técnicas mono critérios de apoio à decisão.

Os modelos de processo de apoio à tomada de decisão, em resposta à escassez dos recursos financeiros e ao ônus crescente desses recursos, fazem com que as decisões sejam tomadas com base em critérios racionais, que garantam a otimização dos retornos obtidos. A introdução do risco e da incerteza nos modelos, trouxeram uma nova gama de informações que permitiram o aperfeiçoamento do processo decisório. Até este momento, os modelos e técnicas utilizadas simplificavam as situações reais, considerando-as determinísticas. Desde então, novas técnicas e modelos se fizeram necessários para criar condições de interpretar com mais precisão os problemas do mundo real. O desenvolvimento destas técnicas e modelos estão em evolução e o crescimento tem sido muito rápido nos últimos anos.

No início dos anos 70, uma nova fase do processo de apoio à decisão "começou a tomar forma e a organizar-se uma comunidade científica, antes dispersa, interessada pelo 'domínio do multicritério' a partir da célebre conferência de Outubro de 1972 na Universidade

da Carolina do Sul, Organizada por James L. Cochrane e Milan Zeleny", (BANA, 1993a).

"Em 1975, Bernard Roy organizou o primeiro encontro *Euro Working Group on Multicriteria Aid for Decisions* em Bruxelas, também em 1975, Hervé Thiriez e Stanley Zionts organizaram a primeira conferência, que mais tarde, tornou-se a *International Society on Multiple Criteria Decision Making ...*" (BANA; STEWART; VANSNICK; 1995a).

Desta maneira, nasceram paralelamente duas correntes científicas de apoio à tomada de decisão. Entretanto, as duas concordavam, que para tomar uma decisão que se aproximasse o mais possível da realidade (racionalidade), era necessário considerar outros valores além dos econômicos-financeiros.

"... uma justificativa para aqueles fatos associados à diversidade de origens científicas dos pioneiros do multicritério, ..., com a sua necessidade de fazer aceitar novos princípios metodológicos num meio científico na época dominada pelos postulados do decisor racional, do ótimo e, também, do quantitativo, clássicos em Investigação Operacional ..., a 'incompreensão', mais do que uma competição fraticida, que se instalou, nomeadamente entre a perspectiva *decision making* da Escola Americana da utilidade multi-atributo e a corrente *aide à la décision*' da Escola Francesa. A primeira, fundada sobre os princípios axiomáticos decorrentes da obra de von Neumann e Morgenstern [1947], fica a meio caminho no pôr em causa aqueles postulados, enquanto a segunda encontra na rejeição destes últimos a sua própria *raison d'être*... Mais recentemente, e de forma ainda algo tímida, uma nova perspectiva de integração tem vindo pouco a pouco a revelar-se ..." (BANA, 1993a).

O que é tomada de decisão multicritério ou multiobjetivo?

De acordo com Bana (1995b), "A tomada de decisão é de fato parte integrante da vida quotidiana. Mas é também uma atividade intrinsecamente complexa e potencialmente das mais controversas, em que temos naturalmente de escolher não apenas entre alternativas de ação, mas também entre pontos de vista e formas de avaliar essas ações, e por fim, de considerar toda uma multiplicidade de fatores direta e indiretamente relacionados com a decisão a tomar."

Para ressaltar a importância dos multicritérios ou multiobjetivos na tomada de decisão " ... talvez baste que cada um pergunte a si próprio, qual foi a última vez em que tomou uma decisão com base num único critério" (BANA, 1995b).

Conforme Milan Zeleny (1982) apud BANA (1995b), "a tomada de decisão pode ser de forma simples definida como um esforço para resolver o dilema dos objetivos conflituosos, cuja presença impede a existência da 'solução ótima' e conduz para a procura da 'solução de melhor compromisso'. Daí, a grande importância dos métodos multicritérios (ou multiobjetivos) como instrumentos de apoio à tomada de decisões".

Não se quer dizer com isso, que os métodos monocritérios foram substituídos de forma radical, pelo contrário, eles continuam tendo grande importância, além do que podem e/ou devem ser utilizados pelo método multicritério, como um critério a ser analisado.

Diferentes Escolas

As diferentes escolas de decisão multicriterial se baseiam "nos princípios subjacentes aos processos de modelização das preferências" (BANA, 1995b), e se diferenciam entre si os três grandes tipos de abordagem de síntese (ROY, 1985) apud (BANA, 1995b), cada qual engloba diversos métodos multicritérios:

- Abordagem do julgamento local interativo.

O processo de modelação das preferências consiste numa seqüência de interações entre o analista e o decisor, alternadas com fases de cálculo, em que o analista seleciona de acordo com as respostas anteriores do decisor, uma alternativa que submete no diálogo seguinte à sua apreciação. No entanto, muitos métodos interativos apresentam o inconveniente de convergirem para uma solução independente ao decisor.

Vanderpooten propõe uma classificação dos principais métodos interativos. O método Stem [Benayoun et al., 1971], os métodos de Geoffrion [et al., 1972], Zionts e Wallenius (1976), Steur (1986), Vincke (1976) e o modelo PREFCALC (Jacquet-Lagèze e Shakun), (1984), entre outros.

- Abordagem do critério único de síntese.

Na qual se insere fundamentalmente a Escola Americana, o modelo de agregação da teoria das Escolhas Sociais (Arrow, 1963) e os métodos desenvolvidos no centro da Teoria da Utilidade Multiatributo (Fisburn, 1970; Keeney e Raiffa, 1976), fundamentada nos princípios axiomáticos de von Neumann e Morgenstern (1947). Basicamente a abordagem de

critério único de síntese, postula que o indivíduo deverá identificar uma função utilidade marginal para cada critério. Função esta, que deverá permitir representar a utilidade subjetiva apercebida pelo decisor, através de uma agregação única de consenso.

□ - Abordagem da subordinação de síntese.

Foi introduzida pela Escola Francesa, modela as preferências através da construção de uma relação binária. O princípio subjacente à abordagem da subordinação de síntese é expresso pelo axioma de comparabilidade parcial (Roy, 1985), segundo o qual três situações fundamentais de preferência podem ser encontradas: Incomparabilidade (R), preferência estrita (P) e indiferença (I), e ainda, em algumas circunstâncias admite a preferência fraca (Q), que leva em conta casos de indecisão entre P e I .

Entre os métodos mais conhecidos e aplicados, estão os métodos ELECTRE's (Buffet et al, 1967; Roy, 1968; Roy e Skalka, 1984; Roy e Bertier, 1973; Roy, 1978; Roy et al, 1986) e PROMETTEE I e II (Brans et al, 1984 e 1986; Brans e Vincke, 1985; Marechal, 1983).

Os métodos incluídos nesta descrição não são exaustivos, existem ainda outros métodos, uns mais e outros menos conhecidos. Entretanto, não são de interesse, nem objetivo deste trabalho.

O presente trabalho é uma síntese de dois processos de apoio à decisão. O primeiro desenvolvido na Escola Americana na década de 70, o segundo na Escola Francesa, seguido de uma aplicação, a qual possibilitará visualizar as principais diferenças entre os métodos.

1.1 - Origem do Trabalho

Os métodos tradicionais para seleção e alocação de recursos têm sido bastante úteis como instrumentos gerências na tomada de decisão. Entretanto, estes modelos centram seus objetivos apenas na produtividade, interpretando equivocadamente o que seja vantagem econômica, sofrendo desgaste dos recursos humanos e financeiros, perdendo flexibilidade e oportunidade de inovar. A rápida evolução tecnológica criou um consumidor mais exigente e bem informado, impondo agilidade de resposta à destreza mercadológica, a qualidade, confiabilidade e competitividade. Tomar decisão estratégica em ambientes cada vez mais complexos deve ser apoiada por uma análise bem justificada, a qual dê enfoque às perspectivas externas da empresa.

Deste modo, tornou-se necessário o desenvolvimento de modelos mais adaptáveis à realidade, que permitem avaliar fatores que a princípio não podem ou não devem ser transformados em valores financeiros, para uma tomada de decisão robusta.

As abordagens multicritérios são técnicas de análise para tomada de decisão e planejamento, que se baseiam no princípio de que para a tomada de decisão, a experiência e o conhecimento das pessoas é pelo menos tão valioso quanto os dados utilizados. Estas técnicas permitem avaliar critérios que não podem ser transformados em valores financeiros.

1.2 - Objetivos do Trabalho

Este trabalho tem como objetivo geral estudar métodos de apoio à tomada de decisão multicritérios, com origem nas Escolas Americana e Francesa.

Por outro lado, como objetivo específico o trabalho procura:

- a) Estudar a metodologia de apoio à decisão multicritério, AHP (Analytic Hierarchy Process).
- b) Estudar a metodologia de apoio à decisão multicritério, MACBETH (Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique).
- c) Examinar as características comuns às duas metodologias no apoio à tomada de decisão, frente a qualquer problema com objetivos complexos e conflitantes que necessite uma decisão apurada e robusta.
- d) Examinar as diferenças existentes entre as duas metodologias.
- e) Aplicar as metodologias em questão, verificando a viabilidade de uso das mesmas.
- f) Enfocar a importância dos métodos em questão, para a resolução de problemas com objetivos conflitantes.

1.3 - Metodologia do Trabalho

O desenvolvimento do trabalho seguirá as seguintes etapas:

Etapa 1: Levantamento bibliográfico, destinado a conhecer as teorias multicritérios direcionado para as metodologias AHP (Analytic Hierarchy Process) e MACBETH (Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique).

Etapa 2: Detalhar de forma objetiva as metodologias, primeiro de uma forma teórica, seguido de uma aplicação que permita mostrar a forma como são utilizadas as técnicas, enfocando a importância dos métodos de tomada de decisão em problemas conflitantes.

Etapa 3: Conclusões e recomendações decorridas do desenvolvimento do presente trabalho.

1.4 - Estrutura do Trabalho

O presente trabalho é estruturado em seis capítulos, além deste introdutório.

Os capítulos 2 e 3 apresentam a fundamentação teórica das metodologias, AHP (Analytic Hierarchy Process) e MACBETH (Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique).

Os capítulos 4 e 5 apresentam um problema e aplicam as duas metodologias em questão, para apoio ao processo decisório.

Por fim, no capítulo 6 são relatadas as conclusões obtidas no decorrer do trabalho, as comparações entre os modelos apresentados e as recomendações para futuros trabalhos.

Capítulo 2

AHP

Processo Analítico Hierárquico

2 - Introdução

Neste capítulo será abordada a técnica de apoio à decisão utilizada na avaliação de projetos, que subsidia a tomada de decisão racional e robusta, o AHP.

O capítulo está dividido em cinco partes, a primeira parte apresenta o modo de estruturar o problema, descrevendo e conceituando os elementos necessários para a utilização desta metodologia. Estas definições servirão de referência para as demais considerações ao longo deste e dos demais capítulos. Apresenta a construção da hierarquia a partir da definição destes componentes, e a forma de julgamento utilizada pelo método.

A segunda parte aborda a forma de avaliar os julgamentos obtidos e a consistência dos julgamentos. Apresenta ainda, o método de comparação par-a-par, a matriz de consistência.

A terceira parte apresenta como determinar as prioridades, segundo o sistema de preferência dos decisores, as vantagens e as limitações impostas pelo método em questão.

A quarta parte apresenta o resumo de alguns estudos feitos em determinados pontos do método, com o objetivo de aperfeiçoar a técnica AHP.

Por fim, a quinta parte, apresenta as conclusões baseadas nas seções anteriores.

2.1 - AHP - Analytic Hierarchy Process

O AHP (Analytic Hierarchy Process) é uma técnica de análise de decisão e planejamento de múltiplos critérios desenvolvida por Thomas L. Saaty (1991), em resposta ao planejamento de contingência militar e empresarial, tomada de decisão, alocação de recursos escassos, resolução de conflitos e a necessária participação política nos acordos negociados. Desde então, tem mostrado ser uma metodologia variada e útil, fornecendo a cientistas de diferentes áreas um novo meio de olhar os seus velhos problemas. A teoria reflete a maneira pela qual a mente humana conceitualiza e estrutura um problema complexo. O método natural de funcionamento da mente humana, quando se defronta com um grande número de elementos, controláveis ou não, que abrangem uma situação complexa, é agregá-los a grupos, segundo propriedades comuns, isto é, quando o ser humano identifica alguma coisa, decompõe a complexidade encontrada; quando descobre relações, sintetiza; este é o processo fundamental da percepção: decomposição e síntese.

A metodologia baseia-se no princípio de que para a tomada de decisão, a experiência e o conhecimento das pessoas é pelo menos tão valioso, quanto os dados utilizados.

A aplicação deste processo reduz o estudo de sistemas extremamente intrincados, a uma seqüência de comparações aos pares de componentes adequadamente identificados. A teoria econômica e as demais metodologias existentes estão tão atreladas aos valores econômicos, que não têm condições de lidar com valores que não possuem implicações monetárias. O tomador de decisão, mesmo que esteja motivado pela necessidade de prever ou controlar, geralmente enfrenta um complexo sistema de componentes correlacionados, e quanto melhor ele entender este sistema, melhor será a sua previsão ou decisão.

O que o tomador de decisão quer é prever o futuro, mesmo num ambiente onde existe incerteza. A incerteza, é uma característica do indivíduo, que está olhando o problema, e é gerada pela qualidade e quantidade de informações obtidas. Complexidade é uma característica do problema.

O AHP é um método que caracteriza-se pela capacidade de analisar um problema de tomada de decisão, através da construção de níveis hierárquicos, ou seja, para se ter uma visão global da relação complexa inerente à situação, o problema é decomposto em fatores.

Os fatores são decompostos em um novo nível de fatores, e assim por diante até determinado nível. Esses elementos, previamente selecionados, são organizados numa hierarquia descendente onde os objetivos finais devem estar no topo, seguidos de seus sub-objetivos, imediatamente abaixo, as forças limitadoras dos decisores, os objetivos dos decisores e por fim, os vários resultados possíveis, os cenários. Os cenários determinam as probabilidades de se atingir os objetivos, os objetivos influenciam os decisores, os decisores guiam as forças que, finalmente, causarão impacto nos objetivos finais. O AHP parte do geral para o mais particular e concreto.

Deste modo, a hierarquia pode ser construída em inúmeros níveis desejados, sendo fixado o objetivo principal no primeiro nível, a definição dos critérios no segundo nível e assim por diante. A ordenação serve para dois propósitos: fornecer uma visão global da relação complexa inerente à situação e, ajudar o tomador de decisão a avaliar se os critérios de cada nível são da mesma ordem de magnitude, assim ele pode comparar cada elemento homogêneo apuradamente.

O processo permite estruturar hierarquicamente qualquer problema complexo, com múltiplos critérios; com múltiplos decisores; com múltiplos períodos. É um processo flexível, que apela para a lógica e ao mesmo tempo, utiliza a intuição. O ingrediente principal que tem levado as aplicações com o AHP a terem sucesso, é o poder de incluir e medir fatores importantes, qualitativos e/ou quantitativos, sejam eles, tangíveis ou intangíveis, e a facilidade de uso. Na aplicação são consideradas as diferenças e os conflitos de opiniões.

A metodologia deve ser útil para formular problemas, incorporando conhecimento e julgamentos de forma que as questões envolvidas sejam claramente articuladas, avaliadas, debatidas e priorizadas. O AHP é utilizado para obter julgamentos através de consenso. Seja qual for a forma que o julgamento final for lançado, sempre haverá pessoas cujos julgamentos diferem de qualquer resultado particular, mas quando um grupo esteve envolvido na formulação de julgamentos, terá sido criada uma síntese de interesse, decorrente de uma homogeneização de conhecimentos do problema que a metodologia propõe.

O problema da decisão está em escolher a alternativa que melhor satisfaz o conjunto total de objetivos. Além disso, torna-se necessário determinar a força com a qual os vários elementos de um certo nível, influenciam os elementos do nível mais alto seguinte, para que se possa computar as forças relativas dos impactos dos elementos sobre o nível mais baixo e sobre os objetivos gerais.

O AHP fornece uma estrutura para incluir uma ampla ordenação de julgamentos, objetivos e subjetivos, de uma maneira intuitiva e consistente, que traduzem de forma clara a preferência dos decisores, e pode ser usado quer como uma ferramenta normativa ou descritiva em análise *ex-ante* ou *ex-post*.

2.1.1 - Fluxograma Geral do AHP

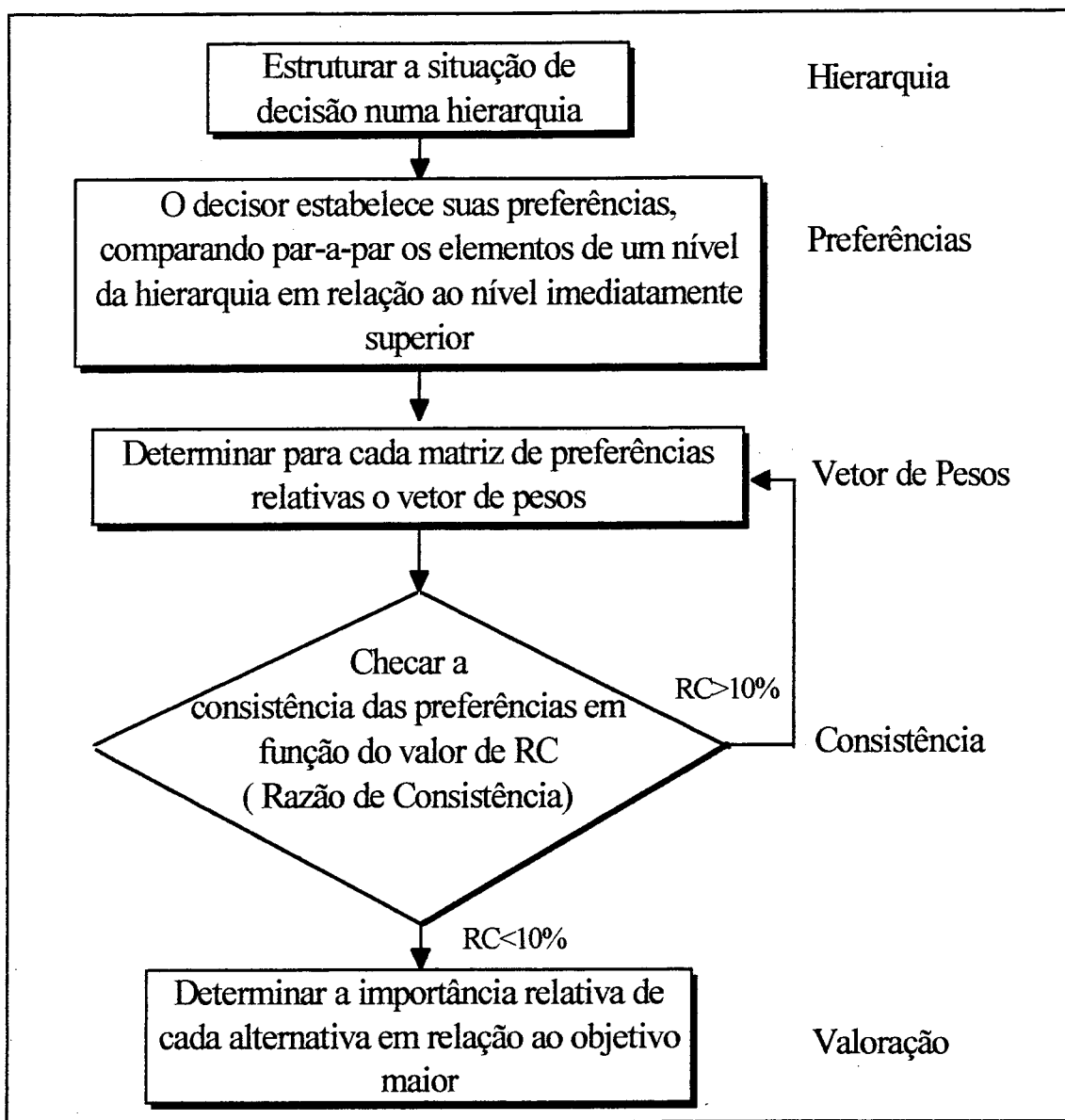


Fig.2.1 - Fluxograma Geral do AHP

AHP consiste de três etapas para a solução do problema:

- Estruturação (Decomposição) do problema;
- Julgamentos comparativos;
- Síntese das Prioridades.

2.2 - Fase de Estruturação

"O estudo dos processos de decisão não deve incidir exclusivamente sobre o momento da 'escolha', mas um longo e complexo processo de exploração e análise deve merecer uma atenção particular. Um processo de apoio à decisão compreende os decisores, seus valores e objetivos, e as ações e suas características." (BANA, 1993b)

O amplo entendimento do ato de decidir requer um cuidado especial nos aspectos ligados principalmente às necessidades em torno da estrutura decisória adotada, para não se chegar a decisões errôneas ou inadequadas. A estruturação deve ser vista como um processo de aprendizagem, isto é, deve estar sempre em aberto ao longo da realização do estudo, para que possam ser feitas reestruturações, à medida que novas informações e um melhor conhecimento do problema sejam adquiridos.

O trabalho de estruturação visa a construção de um modelo formal, capaz de ser aceito pelos decisores como um esquema de representação e organização dos elementos primários de avaliação. A estruturação de um problema de decisão pode decisivamente contribuir para uma tomada de decisão robusta, fornecendo aos decisores uma linguagem comum para o debate e aprendizagem, oferecendo a eles informações claras sobre elementos primários da avaliação. A estruturação pode também ser a base para a elaboração, modificação e/ou validação de valores de julgamento comparativo ou absoluto sobre as alternativas ou oportunidades de decisão. (BANA, 1993b)

Para iniciar a fase de estruturação, o primeiro passo é a compreensão da complexidade do problema que necessita uma solução. Para isso, é necessário começar pela análise e caracterização da situação (diagnóstico e identificação), que é o estudo de dois subsistemas interrelacionados, que são: *o sistema de decisores e o sistema das ações*. Este estudo é feito por um analista (consultor, facilitador). A interação entre estes dois subsistemas dará origem a um grupo de elementos primários de avaliação, que reflete o sistema de valores dos decisores, logo tem uma natureza subjetiva. "É preciso aceitar definitivamente que a subjetividade está onipresente nos processos de tomada de decisão". (BANA, 1993b)

Sistema de valores, de acordo com ROY (1985) apud BANA (1995) - "Sistema que sustenta em profundidade e de forma mais implícita que explícita os juízos de valor de

um indivíduo ou de um grupo. O sistema de valores condiciona o emergir das preocupações assim como a formação dos objetivos e das normas".

2.2.1 - Sistema de Decisores

Quando mais complexa é a situação, maior é o número de pessoas (decisores) envolvidos, direta ou indiretamente, no processo de tomada de decisão. Excepcionalmente, o assunto é da responsabilidade de um só indivíduo.

Decisor pode integrar um indivíduo, vários indivíduos, ou várias entidades. Para que um grupo seja identificado como um decisor é preciso que, os sistemas de valores, de informações e as redes de relações entre os diversos membros não sejam necessariamente diferenciados. As redes de relações dos decisores são dinâmicas, elas vão se moldando em paralelo com o enriquecimento dos seus sistemas de informação, e da influência dos valores do decisor pelos valores de outros decisores.

Os decisores têm diferentes opiniões, personalidades e objetivos, dos quais todos têm um lugar no processo de decisão. Sendo assim, os decisores devem ser classificados dentro de categorias, e estas categorias podem se fundir.

Nem todos os decisores tem o poder de decisão, sendo assim, é importante ainda, distinguir o grau de influência dos decisores no processo de decisão. Este grau de influência faz a distinção entre os decisores envolvidos com o processo de decisão, e são colocados em dois grupos denominados de **agidos** e **intervenientes**. (SFEZ, 1973) apud (BANA, 1993b).

Os **agidos** são pessoas, as quais o programa é imposto, ou são as pessoas que são afetadas por ele, de uma maneira direta ou indireta. Os agidos não tomam decisão sobre o programa, apenas participam.

Os **intervenientes** são pessoas que tomam a decisão sobre os programas e têm ação direta sobre a mudança.

Ambos os tipos de decisores são importantes, embora eles tenham regras diferentes. Os agidos não são pessoas passivas durante todo o processo de decisão, assim como os intervenientes não são pessoas ativas durante todo o processo.

O **analista**, (consultor ou facilitador), tem o papel de esclarecer e mobilizar o processo de avaliação e/ou negociação conducente à tomada de decisão. O analista deve buscar compreender os estímulos e estabelecer as relações de causa-efeito da decisão, deve ajudar a compreender o contexto, identificar as condições que restringem o desenvolvimento de hipóteses de escolha, identificar os decisores, participar da elaboração da hierarquia dos decisores, dar suporte à comunicação entre eles, ou mesmo, limitar-se a uma descrição das ações possíveis e das suas conseqüências potenciais, incorporando o sistema de valores dos decisores envolvidos, sem necessariamente participar da fase de avaliação propriamente dita.

A maior parte do trabalho do analista consiste na formulação do problema, e em ajudar as pessoas a visualizarem o problema.

2.2.2 - Cenário

Um cenário é uma representação de uma idéia particular, de um assunto sendo enfatizado com uma representação adequada de sua interação com os fatores ambientais, culturais, sociais, políticos, tecnológicos e econômicos. Assim, uma análise do cenário real deve examinar, em boa profundidade, projeções de todos estes fatores a fim de chegar a uma descrição convincente da situação sob vários aspectos. Para a construção de um cenário, é preciso ter cautela quanto ao uso livre e indiscriminado da imaginação.

Em geral existem dois tipos de cenário (SAATY, 1991):

❑ **Cenário Exploratório** - Onde o ponto de partida é o presente. O cenário exploratório é sempre usado como um técnica para forçar a imaginação, estimular a discussão e atrair a atenção dos decisores para assuntos específicos.

❑ **Cenário Antecipatório** - O cenário antecipatório se relaciona com a conceituação de futuros viáveis e desejáveis. Ele começa por algum ponto no futuro, e volta atrás a fim de descobrir que alternativas e ações são necessárias para alcançar tais futuros.

Uma vez que o futuro é moldado para uma variedade de forças ou interesses, na procura do atendimento de seu objetivo particular, a síntese de uma grande variedade de cenários compostos precisam levar em consideração os decisores que influenciam o futuro, seus objetivos e as políticas específicas que eles procurarão em cada cenário, para atender a seus objetivos.

Os cenários incluem ingredientes básicos tais como: condições econômicas, competição, regulamentação ambiental, etc.

2.2.3 - Objetivos dos Decisores

A formação dos objetivos de um decisor é condicionada pelo sistema de valores que esse decisor defende ou representa, isto é, o grau de conhecimento e informação que ele domina ou pensa que domina. Portanto, o objetivo tem uma natureza intrinsecamente subjetiva, enquanto que as características das ações tem uma natureza mais objetiva.

Objetivo do decisor "é a manifestação, por parte de um decisor e numa determinada situação, do seu desejo de ver o fim que ele quer que seja atingido, na seqüência da implementação de uma decisão". (BANA, 1993b)

Característica das ações é definida como sendo os indicadores, atribuídos ou desejados para as ações, isto é, são as propriedades, atributos, qualidades e desempenho das ações. As características tem uma natureza de base concreta, enquanto que as representações das ações que podem emergir, não precisam necessariamente ser referências explícitas aos objetivos particulares dos decisores. A consideração de uma propriedade cria muitas vezes problemas muito complexos.

2.2.4 - Sistema de Ações

Os valores dos decisores são os elementos chave para a construção de um modelo de apoio à decisão, um conjunto de ações potenciais é o seu ponto de aplicação.

Uma ação pode ser global ou fragmentada.

Ela é dita global, se a sua implementação implicar na exclusão de outras ações introduzidas no modelo, que podem ou não ser decompostas, isto é, ela é global quando com uma única decisão todos os objetivos podem ser atendidos. Uma ação global é também chamada de alternativa.

Uma ação é chamada fragmentada quando uma ação ou alternativa, não elimina necessariamente a adoção de outra(s), podendo ser utilizada a combinação de várias ações, isto é, quando é necessário várias decisões sequenciais ou não, para que os objetivos sejam atingidos.

É importante admitir que na atividade de apoio à decisão, um conjunto de ações é evolutivo, isto é, o processo de apoio deve ser visto como um processo de aprendizagem, a aquisição de novos elementos de informação pode dar origem à construção de novas ações.

2.2.5 - Noção de Ponto de Vista

"Um processo de decisão é um sistema que relaciona os elementos de natureza objetiva próprios às ações, e elementos de natureza subjetiva próprios aos sistemas de valores dos decisores, tal sistema é indivisível e, portanto não pode ser negligenciado. Os objetivos e características unem-se no que se chama ponto de vista". (BANA, 1993b)

"Um ponto de vista representa todo o aspecto da decisão real apercebida como importante para a construção de um modelo de avaliação de ações existentes ou a criar. Um tal aspecto, que decorre do sistema de valores e/ou da estratégia de intervenção de um decisor no processo de decisão, agrupa elementos primários que interferem de forma indissociável na formação das preferências desse decisor" (BANA, 1993b). Um ponto de vista é a explicitação de um valor que deve ser levado em consideração na avaliação das propostas, é importante distinguir entre pontos de vista elementares (PVE) e pontos de vista fundamentais (PVF). Um PVF é um fim em si mesmo, para que um ponto de vista seja fundamental é necessário que durante o processo de estruturação confirme a validade da hipótese de *independência*, e deve refletir um valor fundamental *isolável*, isto significa dizer, que é possível e desejável avaliar as ações segundo um PVF independente dos seus impactos, segundo outros pontos de vista. Um PVF pode ser um conjunto de PVE's, isto é, um fim comum para o qual contribuem vários valores mais elementares. A noção de PVF corresponde ao conceito de "critério de avaliação".

Critérios são medidas, regras e padrões que guiam a decisão. É um modelo de preferência entre elementos de um grupo de ações reais e fictícias, as quais incluem noções matemáticas

Para se ter uma visão mais clara, uma visão global da relação complexa inerente à situação, é útil representar o problema em forma de estrutura hierárquica, com vários níveis de especificação. Na hierarquia final, os PVF's selecionados como "critérios de avaliação", podem situar-se em qualquer nível da árvore, exceto no topo que corresponde ao objetivo do processo de avaliação. Deve-se evitar um grande número de PVF's, mas por outro lado, o número de PVF's não deve ser tão pequeno, ao ponto de se correr o risco de deixar de fora aspectos importantes para a avaliação das propostas. Um conjunto de PVF's deve levar em consideração três propriedades (lógicas) como hipóteses de trabalho: exaustividade (necessária, mas não totalmente realística), não-redundância e monotonia.

Cada PV deve ter uma significação precisa, e sua definição deve ser clara, de modo que não crie significado dúbio entre os decisores, e nem sobre o tipo de valores a que se referem. Um ponto de vista tem uma natureza subjetiva, por originar-se dos sistemas de valores dos decisores, já o descritor, deve ser o mais possível objetivo, por ser definido com base em descrições da realidade, não dependentes dos interesses, dos gostos e das opções do decisores.

O trabalho de estruturação visa identificar progressivamente e de forma interativa, os pontos de vista onde vão ligando, agrupando e caracterizando todos esses elementos primários inicialmente dispersos. A identificação de elementos primários de avaliação não deve ser um fim em si mesmo, de um estudo de apoio à decisão, mas uma etapa que ajudará a identificar pontos de vista mais fundamentais, enquanto *representação e reflexo* dos valores dos decisores.

Existem diferentes propostas na forma de conduzir o trabalho de estruturação. Um dos caminhos se concentra fundamentalmente sobre os *objetivos dos decisores*, e outro caminho nas *características das ações*. O trabalho e estruturação pode ser iniciado ou pelos objetivos dos decisores ou pelas características das ações. Caso se opte pelo caminho das *características das ações*, é necessário se decompor o conjunto destas características à exaustão (exigência irrealista), e a seguir evoluir para um trabalho de composição dos elementos identificados. Já o caminho dos *objetivos gerais dos decisores*, parte para a decomposição dos objetivos mais específicos.

2.2.6 - Construção da Hierarquia

Uma hierarquia é uma estrutura simples, usada para representar simplesmente o tipo de dependência de um nível ou componente de um sistema com outro de maneira seqüencial. É também uma maneira conveniente de decompor um problema complexo numa pesquisa de explicações de causa-efeito, em passos os quais formam um cadeia linear.

Talvez a tarefa mais criativa na tomada de decisão é a escolha de fatores que são importantes para a tomada de decisão. Na prática não existe um conjunto de procedimentos que geram os objetivos, critérios e alternativas a serem incluídos numa hierarquia ou mesmo num sistema mais geral.

Na construção da hierarquia devem ser incluídos detalhes relevantes para:

- representar o problema de tal modo que inclua todos os elementos importantes para a avaliação, sem que seja perdida a sensibilidade para que, se necessário, no desenrolar do processo os elementos possam ser mudados;
- considerar o ambiente que cerca o problema;
- identificar as questões ou atributos que contribuam para a solução;
- identificar os participantes associados com o problema.

A construção da hierarquia requer experiência e conhecimento da área do problema. Dois decisores podem normalmente estruturar duas diferentes hierarquias do mesmo problema. Assim uma hierarquia não é única. Por outro lado, mesmo quando duas pessoas constroem a mesma hierarquia, suas preferências podem produzir diferentes cursos de ação. Entretanto, um grupo de pessoas pode trabalhar junto para chegar a um consenso em ambas as hierarquias e nos julgamentos e suas sínteses (avaliação).

A hierarquia pode ser linear ou não-linear. Uma hierarquia não-linear apresenta arranjos circulares, isto é, um nível superior pode ser dominado por um nível inferior e estar sempre numa posição dominante.

A fase de implementação do AHP envolve três processos interrelacionados não seqüenciais:

- identificação de níveis e elementos;
- definição de conceitos;
- formulação das perguntas.

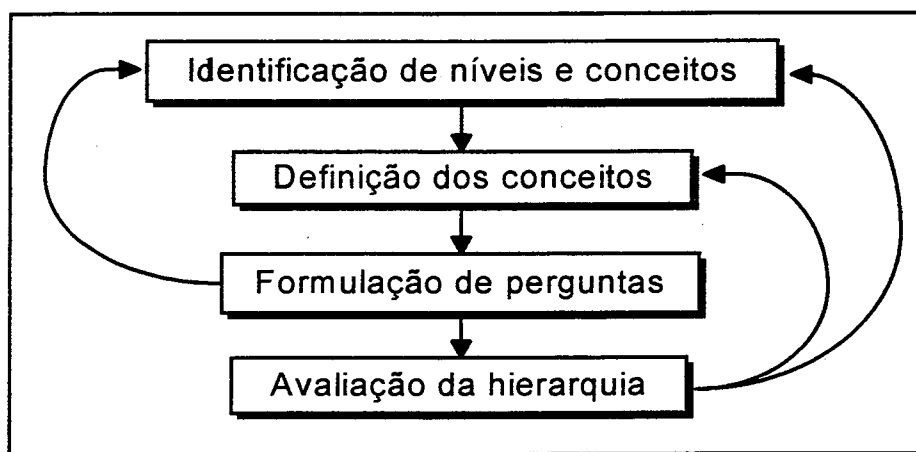


Fig.2.2 - Resumo da relação entre três componentes na construção da hierarquia.

Num primeiro passo, níveis e elementos (conceitos) dentro dos níveis são identificados. São, então, definidos e utilizados na fase de formulação das perguntas. Caso os decisores tenham problemas em responder essas questões, então os níveis e conceitos devem ser revisados e modificados. A construção hierárquica é um processo iterativo onde os conceitos, as perguntas a serem respondidas e as respostas associadas com as perguntas, determinam os elementos e os níveis da hierarquia. A ambigüidade no processo de questionamento pode levar o decisor a selecionar o critério ou alternativa errada, todas as perguntas devem ser correspondentes e consistentes com a informação existente.

No AHP os fatores são selecionados e arranjados, em uma estrutura hierárquica descendente do objetivo geral para o critério, subcritério e alternativas em níveis sucessivos.

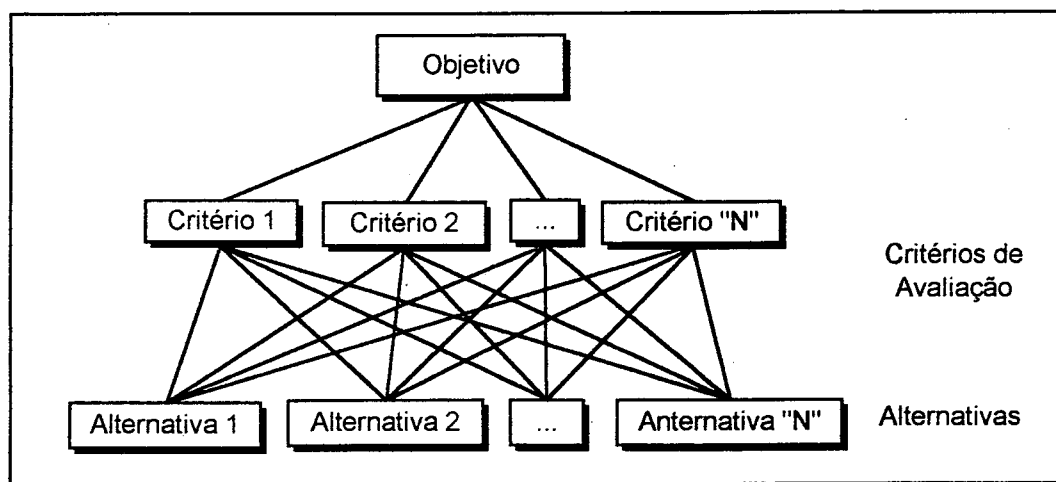


Fig.2.3 - Estrutura Hierárquica Básica.

Uma hierarquia não precisa necessariamente ser completa, isto é, um elemento num dado nível não tem a função de um atributo (ou critério) para todos os elementos num nível abaixo. Uma hierarquia não é uma árvore de decisão tradicional. Cada nível pode representar uma diferente observação do problema. Um nível pode representar fatores sociais, outro cultural e outro político para serem avaliados em termos de fatores sociais e vice-versa. Além disso, o decisor pode inserir ou eliminar níveis e elementos necessários para clarear a tarefa de fixar prioridades ou para apurar a visão de uma ou mais partes do sistema.

2.2.7 - Hierarquia em Ambiente Dinâmico

Como uma regra geral, a hierarquia é desenvolvida do geral (nível superior) para o particular (níveis inferiores) ou da incerteza e/ou incontroleabilidade para maior certeza e/ou controlabilidade (nível superior).

As hierarquias têm sido reconhecidas como sendo usadas em situações de incerteza. Quando tratamos com ambiente dinâmico, devemos incluir o tempo como um nível (tempo horizontal) da hierarquia, e quando tratamos com incerteza consideramos cenários ambientais. Normalmente, o nível com tempo horizontal é localizado acima do nível com os cenários, embora seja utilizado um *loop* entre estes dois níveis. Este *loop* permite avaliar os

cenários com respeito ao tempo horizontal, para determinar qual cenário é mais provável de ocorrer para cada tempo, e a avaliação do tempo horizontal com respeito aos cenários para determinar qual tempo é mais crítico para cada cenário. O processo no qual envolve tempo e incerteza é o processo de planejamento *Forward - Backward*. Planejamento é o processo usado para identificar necessidades e alocação de recursos, com a proposta de atingir objetivos.

O processo *Forward* parte do presente para o futuro através da hierarquia, o qual usualmente contem níveis tais como:

- tempo horizontal,
- cenários ambientais,
- decisores (*stakeholders*),
- objetivos dos decisores (*stakeholders*),
- objetivos políticos, e
- projeções de cenários.

O processo *Backward* se estende do futuro para o presente através da hierarquia com níveis tais como:

- cenário desejado,
- problemas - oportunidades,
- decisores (*stakeholders*),
- objetivos (opções), e
- políticas.

Ambas as hierarquias são avaliadas. As políticas do processo *Backward* são comparadas às políticas do processo *Forward*, de acordo com os seus pesos ou prioridades e o tipo de política. Se eles são da mesma ordem ou similares, então o processo é parado. Contudo, se as políticas do processo *Backward* não estiverem no grupo de políticas do processo *Forward*, então eles são adicionados ao grupo. Os cenários de projeção são avaliados com respeito às novas políticas, para determinar as políticas nos futuros projetos. Se o futuro planejado está em harmonia com o futuro desejado, então o processo é paralisado.

O processo *Forward* é um processo de avaliação de um futuro provável, é um processo descritivo, enquanto o *Backward* é um processo criativo. As políticas criadas no processo de *Backward* são avaliadas no processo *Forward* para determinar seu impacto na

projeção do futuro. Este processo é particularmente útil na área de resolução de conflito, para analisar políticas alternativas ou ações das partes em conflito e os cenários para o qual estas ações conduzem.

A fase de estruturação tem sido reconhecida como uma das mais importantes atividades de ajuda à decisão. O que está em jogo nesta fase é como apresentar, descrever e justificar o problema e os nossos pontos de vista aos outros, e fazer com que exista consenso.

A problemática da decisão evolui ao longo do processo e não pode ser dissociada do ambiente envolvente, do contexto próprio de cada um dos seus estados de desenvolvimento e das motivações próprias a cada um dos decisores.

É preciso ter cuidado com a estruturação. Um problema estruturado às pressas, pode levar à armadilha da decisão, produzindo uma solução sofisticada e ruim.

Após a fase de estruturação, passa-se para a fase de triagem e seleção.

A triagem tem a função de reduzir o número de ações (alternativas), avaliando quais são viáveis. Este é um passo superficial, seu único intuito é o de analisar superficialmente as alternativas e eliminar as que são inviáveis.

A fase de seleção é o passo em que, é feita a análise das características das ações e das consequências das características escolhidas. É um processo interativo que envolve uma análise mais aprofundada, é o próprio ato de escolher.

2.3 - Fase de Avaliação

Na fase de avaliação é necessária a definição do tipo de problemática técnica a adotar: - avaliar as ações em termos relativos ou absolutos ?, - ordenar ou escolher ações ?, - aceitar ou rejeitar ações ? (BANA, 1993b)

Avaliar as ações em termos absolutos consiste em orientar o estudo no sentido de obter informações sobre o valor intrínseco de cada ação com referência a uma ou várias normas. Cada ação é comparada independente de qualquer outra, com padrões de referências pré-estabelecidos.

Avaliar as ações em termos relativos consiste em comparar as ações umas com as outras, com o intuito de obter informações sobre o valor relativo de cada ação quando comparada. Cada ação é avaliada para se efetuar uma escolha ou uma ordenação por agregação de informações, o resultado final só tem significado relativo, isto é, a escolha ou não de uma ação ou a sua posição numa ordenação, só tem sentido em termos de confronto com as outras ações.

A avaliação absoluta pode limitar-se a um processo de avaliação de uma só ação ou tratar-se de um modelo de definição "aceitar" ou "rejeitar".

A avaliação relativa deve ter, pelo menos, um par de ações, que pode ser avaliado no sentido de "ordenar" ou "escolher".

As escalas relativas são sempre necessárias para representar o entendimento subjetivo.

O AHP tem sido usado com escalas de medidas relativas e absolutas para derivar relação de escalas de medidas. Medidas absolutas podem, em termos, ser aplicadas para ordenar alternativas, para a definição de critérios ou de outro modo, para avaliar os critérios.

Em ambos os tipos de medida, os pares de comparação são executados para determinar a prioridade dos critérios, com respeito ao objetivo principal.

Com medidas relativas, os pares de comparação são executados através da hierarquia contida nas alternativas dos níveis mais baixos com respeito ao critério do nível mais alto.

Com medidas absolutas, os pares de comparação são também executados através da hierarquia, com exceção da comparação das alternativas entre si. O nível exato acima das alternativas consiste da intensidade ou do grau com que são aperfeiçoados os critérios ou subcritérios que governam as alternativas.

A medida absoluta é aplicada para ordenar alternativas em termos de avaliação, intensidade ou grau dos critérios. A alternativa é avaliada para cada critério ou subcritério, identificando o grau que melhor a descreva. Estes graus podem ter a forma: excelente, muito bom, bom, médio, abaixo da média, pobre ou muito pobre.

Finalmente, o peso ou as prioridades globais dos graus são adicionadas, para produzir uma escala de relação para a alternativa.

2.3.1 - Medida de Julgamento e Consistência

A hierarquia representa a análise dos elementos mais importantes da situação e as suas relações. Porém, não é um auxílio muito poderoso no processo de planejamento ou de tomada de decisão. É necessário ainda, um método para determinar a força com a qual os vários elementos influenciam outros elementos, de forma que se possa calcular a força relativa dos impactos sobre o objetivo geral.

2.3.1.1 - Julgamentos

No AHP os julgamentos são dados na forma de par de comparação. O decisor transforma a informação avaliável em pares de comparação respondendo a questão: Dado um critério e duas alternativas A e B, qual a alternativa que mais satisfaz, e quanto mais em relação ao critério considerado?

O uso da hierarquia é que permite focalizar separadamente os julgamentos, em cada uma das diversas propriedades essenciais, para tomar uma decisão segura. O modo mais

eficiente para concentrar julgamentos, é tomar um par de elementos e compara-los a uma única propriedade, sem referir-se a outras propriedades ou outros elementos.

Algumas vezes, as comparações são feitas com base na estabilidade padrão da memória, através da experiência ou do treinamento.

Neste estágio, os axiomas da teoria são transparentes, se o tomador de decisão não puder fornecer uma resposta, então, ou a pergunta não é significativa ou as alternativas não são comparáveis.

Os axiomas são os seguintes (VARGAS, 1990):

Axioma 1: Comparação recíproca

O tomador de decisão deve ser capaz de fazer comparações e manifestar a força de suas preferências. A intensidade dessas preferências deve satisfazer a condição de reciprocidade: se **A** é **X** vezes mais preferível que **B**, logo, **B** é $1/X$ vezes mais preferível que **A**.

- A não ocorrência deste axioma, indica que a pergunta usada para elucidar os julgamentos ou pares de comparação, não é claro ou correto. Neste caso, devem ser reavaliados os elementos ou os níveis da hierarquia.

Axioma 2: Homogeneidade

As preferências são representadas pelo princípio de uma escala limitada.

- Caso este axioma não seja satisfeito, isto indica que os elementos que estão sendo comparados não são homogêneos e os grupos podem precisar ser formados. Este axioma restringe o limite superior da escala. Na prática este limite superior possui somente uma ordem de magnitude, isto é, 9. Se os elementos a serem comparados não pertencem a um grupo homogêneo, eles podem ser ordenados em diferentes grupos, e comparados com elementos de mesma ordem de magnitude. A comparação entre os grupos pode ser feita pela divisão de elementos que pertencem aos seus limites. Se o decisor não pode fornecer uma resposta, então ou a pergunta não é significativa ou as alternativas não são comparáveis. Comparabilidade significa homogeneidade.

Axioma 3: Independência

Quando as preferências são declaradas, assume-se que os critérios são independentes das propriedades das alternativas.

- Este axioma implica que os pesos do critério devem ser independentes das alternativas consideradas. Um modo de determinar a violação deste axioma, é usar uma generalização do AHP, conhecida como a abordagem da supermatriz.

Axioma 4: Expectativa

Para a proposta de tomar uma decisão, supõe-se que a estrutura hierárquica seja completa.

- Finalmente, se este axioma não for satisfeito, então o decisor não está usando todos os critérios e/ou todas as alternativas avaliáveis ou necessárias, para encontrar suas expectativas racionais, e assim a decisão é incompleta.

Nesta fase, cada decisor irá apresentar seu julgamento, estabelecendo a relação de importância entre os elementos da hierarquia com seu interesse especial. Se os atores divergirem nos julgamentos, pode-se chegar a um consenso através da técnica Delphi.

2.3.1.2 - Método de Comparação Par-a-Par

Para problemas onde não se pode ou não se tem condições de validar resultados, fazendo medições com instrumentos, o processo de comparação par-a-par é uma ferramenta muito útil. Embora, o número de pares de comparações necessários em problemas reais, frequentemente, torna-se muito alto. A estruturação do problema e o debate, o qual precede cada par de comparação, são aspectos vitais do processo o qual se torna difícil de ser encurtado, devido às pressões crescentes da necessidade de completar todos os pares de comparação.

As comparações paritárias em combinação com a estrutura hierárquica são úteis para a dedução de medidas, isto é, os pares de comparação são usados para estimar a escala fundamental unidimensional, na qual os elementos de cada nível são medidos. Isto pode ser efetuado, usando o método de autovetor principal na matriz de comparação paritária.

A proposta do AHP é fornecer um vetor de pesos para expressar a importância relativa dos diversos elementos. O primeiro passo é medir o grau de importância do elemento de um determinado nível, sobre aqueles de um nível inferior, pelo processo de comparação par-a-par feito pelo decisor. A quantificação dos julgamentos é feita utilizando-se uma escala de valores que varia de 1 à 9 (igual, fraco, forte, muito forte, absoluta e, valores intermediários).

Na quantificação dos julgamentos é feita uma classificação em termos relativos. O decisor quantifica os seus julgamentos de acordo com a tabela 2.1 abaixo.

Tabela 2.1 - Escala de Julgamento

Valor	Definição
1	Elementos iguais
3 ou 1/3	Fraca importância de um elemento sobre outro
5 ou 1/5	Importância forte de um elemento sobre outro
7 ou 1/7	Importância muito forte de um elemento sobre outro
9 ou 1/9	Importância extrema de um elemento sobre outro
2, 4, 6, 8	Valores intermediários entre dois julgamentos adjacentes

Saaty fez experiências com várias escalas (3,5,7,9,20), e concluiu que a escala de nove valores fornece flexibilidade suficiente para diferenciar dois elementos. Embora, ele não impeça a utilização de outras escalas de julgamento.

2.3.1.3 - Matriz de Julgamento / Consistência e Inconsistência

Os resultados obtidos com os julgamentos, através da comparação paritária, os números, são colocados numa matriz A quadrada $n \times n$. Este procedimento se repete para todos os elementos do nível, com respeito a todos os elementos de um nível acima.

A matriz apresenta-se da seguinte forma:

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ \frac{1}{a_{21}} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \frac{1}{a_{n1}} & \frac{1}{a_{n2}} & \dots & 1 \end{bmatrix}$$

Os elementos a_{ij} são definidos pelas seguintes condições:

$$a_{ij} > 0 \Rightarrow \text{positiva}$$

$$a_{ij} = 1 \therefore a_{ji} = 1$$

$$a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}} \Rightarrow \text{recíproca}$$

$$a_{ik} = a_{ij} \times a_{jk} \Rightarrow \text{consistência.}$$

O número de julgamentos necessários para a construção da matriz é $n(n-1)/2$, onde n é o número de elementos da matriz \mathbf{A} .

Cada entrada da matriz de comparação, a_{ij} deve ser considerada como uma estimativa da razão entre os elementos da linha de ordem i e os elementos da coluna de ordem j , isto é, $a_{ij} = w_i/w_j$.

Supondo que (w_1, \dots, w_n) são estimativas precisas, todos os elementos da matriz são consistentes.

Sendo:

$(w_i/w_j) \Rightarrow$ importância relativa dos elementos da linha de ordem i em relação aos elementos da coluna de ordem j .

$(w_1, \dots, w_n) \Rightarrow$ pesos numéricos que refletirão os julgamentos registrados.

No caso ideal de medidas exatas, as relações entre os pesos w e os julgamentos a_{ij} são dadas por:

$$\begin{cases} a_{ij} = \frac{w_i}{w_j} \\ a_{ij} \times a_{jk} = a_{ik} \end{cases}$$

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1n} \\ \vdots & \cdots & \vdots \\ a_{n1} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} w_1/w_1 & \cdots & w_1/w_n \\ \vdots & \cdots & \vdots \\ w_n/w_1 & \cdots & w_n/w_n \end{bmatrix}$$

Isto é, os elementos da linha de ordem i da matriz \mathbf{A} : $a_{i1}; a_{i2}; \dots; a_{ij}; \dots; a_{in}$, são os mesmos da razão: $\frac{w_i}{w_1}; \frac{w_i}{w_2}; \dots; \frac{w_i}{w_j}; \dots; \frac{w_i}{w_n}$.

Se o primeiro elemento for multiplicado por w_1 , o segundo por w_2 , e assim por diante, obtêm-se: $\frac{w_i}{w_1} \times w_1 = w_i; \frac{w_i}{w_2} \times w_2 = w_i; \dots; \frac{w_i}{w_j} \times w_j = w_i; \dots; \frac{w_i}{w_n} \times w_n = w_i$

O resultado é uma linha de elementos idênticos, w_i, w_i, \dots, w_i .

Sendo assim:

w_i é igual à média dos valores da linha de ordem i ,

$w_i =$ a média de $(a_{i1} \cdot w_1, a_{i2} \cdot w_2, \dots, a_{in} \cdot w_n)$,

que é igual a:

$$w_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n a_{ij} \cdot w_j$$

Então:

$$a_{ij} = \frac{w_i}{w_j}$$

$$a_{ij} \times \frac{w_j}{w_i} = 1$$

Conseqüentemente:

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} \times w_j = n \times w_i$$

o que é equivalente a:

$$\begin{cases} a_{ij} = \frac{w_i}{w_j} \\ a_{ij} \times a_{jk} = a_{ik} \end{cases}$$

$$\mathbf{A} \mathbf{w} = \begin{bmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1n} \\ \vdots & \cdots & \vdots \\ a_{n1} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w_1 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} w_1/w_1 & \cdots & w_1/w_n \\ \vdots & \cdots & \cdots \\ w_n/w_1 & \cdots & w_n/w_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w_1 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} nw_1 \\ \vdots \\ nw_n \end{bmatrix} = n \begin{bmatrix} w_1 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix}$$

Multiplicando-se \mathbf{A} pelo vetor de pesos $\mathbf{w} = (w_1, w_2, \dots, w_n)^T$. O resultado dessa multiplicação é $n\mathbf{w}$. Em teoria matricial, esta fórmula expressa o fato de que \mathbf{w} é um autovetor de \mathbf{A} , com autovalores de n .

No caso ideal, todos os autovalores são zero, exceto um, que é n . Cada linha de \mathbf{A} é uma constante da primeira linha. A soma dos autovalores da matriz é igual a sua transposta \mathbf{A}^T . A soma dos elementos da diagonal, é neste caso, a transposta de \mathbf{A} e é igual a n . Assim, n é o maior ou principal autovalor de \mathbf{A} .

A solução de $\mathbf{A}\mathbf{w} = n\mathbf{w}$ é chamada de *autovetor direito principal* de \mathbf{A} , consiste de entradas positivas e é única dentro de uma constante multiplicativa. Para tornar \mathbf{w} única, normaliza-se suas entradas, dividindo pela sua soma.

Entretanto, é irrealístico querer que estas relações signifiquem o caso geral. A imposição destas relações restritas tornaria insolúvel, na maioria dos casos práticos, o problema de encontrar w_1 , quando a_{ij} é dado, uma vez que medidas físicas não são exatas, daí a necessidade de uma tolerância para desvios, e ainda porque em julgamentos humanos, estes desvios são consideravelmente maiores.

Como os a_{ij} , são valores baseados em julgamentos subjetivos, a_{ij} é diferente de w_i/w_j ,

Logo:

$$w_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n a_{ij} \times w_j \times \mathcal{E}_{ij} \quad (i=1, \dots, n) \text{ e } (j=1, \dots, n)$$

\mathcal{E}_{ij} é o espalhamento estatístico em volta de w_i , isto é, \mathcal{E}_{ij} é o desvio de w_i/w_j de a_{ij} ,

Portanto:

$$w_i = \sum_{j=1}^n a_{ij} \times w_j \times \frac{\mathcal{E}_{ij}}{n}, \quad (i=1, \dots, n) \text{ e } (j=1, \dots, n)$$

onde passaremos a representar para o caso geral:

$$\frac{\mathcal{E}_{ij}}{n} = \frac{1}{\lambda_{\text{máx}}} \quad \therefore \lambda_{\text{máx}} = \frac{n}{\mathcal{E}_{ij}}$$

Observa-se assim que uma pequena variação de a_{ij} , implica em pequenas variações em $\lambda_{\text{máx}}$. Então, para uma matriz qualquer de ordem n existem no máximo n autovalores distintos, $(\lambda_1, \dots, \lambda_n)$, a sua soma será $\sum_{i=1}^n \lambda_i = n$.

Obviamente, no caso de consistência total, n será o maior autovalor de \mathbf{A} , isto significa que $\lambda_{\text{máx}} = n$, e implica em $\mathcal{E}_{ij} = 0$ e $a_{ij} = w_i/w_j$. Desde modo, o desvio de $\lambda_{\text{máx}}$ a partir de n é uma medida de consistência.

O índice de consistência é calculado pela equação: $IC = (\lambda_{\text{máx}} - n)/(n - 1)$. Este índice mede o desvio dos julgamentos da consistência, quanto mais próximo o índice estiver de zero, melhor será a consistência global da matriz de comparação de julgamentos.

Segundo SAATY (1991), consistência quer dizer que, quando uma quantidade básica de julgamentos de uma matriz foram feitos, isto é, pelo menos $(n-1)$ comparações, passa-se a deduzir os outros julgamentos até completar toda a matriz.

O grau de inconsistência ou incomparabilidade é medido por: $RC = IC/IR$ onde, **IR** é o índice de consistência randômico, que é determinado através de experimentos e após tabelado. O **IR** utilizado terá a mesma dimensão n de **IC**.

O **IR**, índice de consistência randômico, é baseado na escala de 1-9. Para cada ordem de matriz, foi construído uma amostra de tamanho 100, as suas entradas foram preenchidas randomicamente, sendo que, as entradas da diagonal principal são unitárias, e para cada posição acima da diagonal, foram colocados randomicamente qualquer dos inteiros de 1 a 9 ou seus recíprocos. Na posição abaixo da diagonal foram colocados os seus recíprocos forçados. Por exemplo, se na posição $a_{ij} = 6$, então na posição $a_{ji} = 1/a_{ij} = 1/6$. A seguir as matrizes são calculadas e é encontrado a média de $(\lambda_{\max} - n)/(n - 1)$ para as 100 matrizes correspondentes a cada valor de n . Os cálculos foram repetidos para uma amostra de tamanho 500. A tabela 2.2 mostra a ordem das matrizes com os seus **IR's** correspondentes.

Tabela 2.2. Índices Randômicos.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,48

O grau de inconsistência, **IR**, calculado representa o quão bem os resultados obtidos dos julgamentos representam a realidade.

O teste de consistência só é possível, porque existe uma matriz de comparação paritária.

De acordo com SAATY (1991), o resultado de **RC** deve ser menor que 10%, caso contrário a qualidade dos julgamentos deve ser melhorada através de uma revisão das estimativas.

2.3.2 - Prioridades

De acordo com o exposto, elementos que têm características globais, devem ser representados no nível mais alto da hierarquia, os outros com características que especificam o problema, podem ser desenvolvidos nos níveis mais baixos. A tarefa de determinar prioridades requer que o critério, as propriedades ou características das alternativas sejam comparadas. As alternativas devem ser colocadas gradualmente na hierarquia, e confrontadas entre si, em relação aos elementos do nível mais alto.

Depois de terem sido julgados os impactos de todos os elementos, e as prioridades terem sido calculadas para a hierarquia como um todo, algumas vezes, e com cuidado, os elementos menos importantes podem ser abandonados, por causa de seus impactos relativamente pequenos no objetivo final. Então, as prioridades podem ser recalculadas, mudando ou não os julgamentos iniciais.

Finalmente, para medir a prioridade dos diversos níveis de elementos, deve-se multiplicar os pesos dos elementos de um nível com todos os elementos no nível abaixo. Isto é feito pelo Princípio da Composição da Hierarquia.

2.3.2.1 -Princípio da Composição da Hierarquia

Os elementos de um nível hierárquico são comparados, em termos relativos, de acordo com a sua importância ou contribuição, para um dado critério, que ocupa o nível, imediatamente acima dos elementos que estão sendo comparados. Este processo de comparação fornece uma escala relativa de medidas de prioridade ou peso dos elementos. A escala mede a posição relativa dos elementos com respeito ao critério independente de qualquer outro critério ou elemento que pode ser considerado para a comparação. A soma desses pesos relativos é um. As comparações são feitas pelos elementos de um nível, com respeito a todos os elementos do nível acima. Os pesos finais ou globais dos elementos do nível inferior da hierarquia são obtidos pela soma de todas as contribuições dos elementos num nível com respeito a todos os elementos no nível acima.

Após ter sido estruturado o problema em forma de hierarquia, e os julgamentos terem sido efetuados, o passo seguinte consiste em calcular o vetor prioridade da matriz dada. A matriz será calculada através do método de autovetor e autovalor.

2.3.2.2 - Método do Autovetor e Autovalor

Devido à sua complexidade, problemas de autovetor e autovalor, só são possíveis de serem resolvidos, de forma geral, por meio de matemática computacional. Dada uma matriz quadrada \mathbf{A} de ordem n , com $a_{ij} \in \mathfrak{R}$, um *autovalor*, ou valor característico de \mathbf{A} , é qualquer constante $\lambda \in \mathbb{C}$, que satisfaz a equação $\mathbf{A}\mathbf{w}=\lambda\mathbf{w}$, denominada de *equação característica*, onde \mathbf{w} é um *vetor coluna* de ordem n , denominado *autovetor* (ou vetor característico) de \mathbf{A} .

Da equação matricial $\mathbf{A}\mathbf{w}=\lambda\mathbf{w}$, resulta que: $(\mathbf{A}-\lambda\mathbf{I})\mathbf{X}=\mathbf{0}$, que é um sistema de equações lineares quadrada. Para que este sistema tenha solução não-trivial, terá que ocorrer: $\det(\mathbf{A}-\lambda\mathbf{I})=0$, resultando após a aplicação da determinante numa equação polinomial de grau n $p(\lambda)=0$, denominada de *equação característica* (ou de polinômio característico) da matriz \mathbf{A} . As raízes do polinômio característico são justamente os *autovalores* de \mathbf{A} .

SAATY (1991), apresenta quatro métodos simplificados para a determinação do autovetor e autovalor:

Método 1

No primeiro método, isto é feito multiplicando-se os n elementos em cada linha e tomando-se a raiz n -ésima. A seguir, normaliza-se a coluna dividindo-se cada número da matriz pela soma de todos os números.

Método 2

No segundo, divide-se os elementos de cada coluna pela soma daquela coluna e, então soma-se os elementos em cada linha resultante e divide-se esta soma pelo número de elementos na linha. Este é um processo para tirar a média das colunas normalizadas.

Método 3

No terceiro método, toma-se a soma dos elementos em cada coluna e forma-se os recíprocos desta soma. Para normalizar-se de um modo que estes números dêem como soma a unidade, divide-se cada recíproco pela soma dos recíprocos.

Método 4

O quarto método, e mais grosseiro, isto é feito somando-se os elementos em cada linha. Normaliza-se o resultado, dividindo-se cada soma pelo total de todas as somas, de modo que os resultados somados dêem a unidade. O primeiro valor do vetor resultante é a prioridade da primeira atividade; o segundo, a prioridade da segunda atividade; e assim por diante.

Apesar de não serem métodos exatos, pode ser obtida uma boa estimativa das prioridades. Através de um experimento feito com uma matriz de ordem 6, foram realizadas 290 iterações e calculado o $\hat{\lambda}_{\max}$, **RC**, **IC**, pelos quatro métodos. Os resultados das matrizes em questão só serão consideradas, quando pelo menos por um dos métodos o **RC** for menor ou igual a 10%. As tabelas de resultado e os gráficos de comparação do **RC** das matrizes são apresentadas no anexo 1. Observou-se, que quando o **RC=0**, os quatro métodos apresentam o mesmo resultado. A medida que o **RC** vai se distanciando de zero, os resultados demonstram que os métodos 1 e 2 são aproximadamente equivalentes, isto é, apresentam um comportamento bastante semelhante, o que nos levaria a concluir que tanto faz utilizar o primeiro ou o segundo método. Já o terceiro e o quarto método apresentam **RC** variáveis, demonstram correlação significativa, isto é, sempre apresentam valores significativamente maiores. Por isso, serão utilizados somente os métodos 1 e 2, daqui em diante.

A interpretação dos resultados deve ser feita, de um modo cuidadoso e racional.

2.4 - Vantagens do Método

As duas grandes vantagens que o AHP tem sobre outros métodos multicritérios, é a facilidade de uso e a habilidade de manusear com julgamentos inconsistentes. Os julgamentos das pessoas que atuam unilateralmente, raramente são consistentes.

As vantagens das hierarquias apresentadas por SAATY (1990), são basicamente as seguintes:

- A representação hierárquica de um sistema pode ser usada para descrever como as mudanças em prioridades nos níveis mais altos, afetam a prioridade dos níveis mais baixos;
- Ajudar a todos os envolvidos no processo decisório, a entenderem o problema da mesma forma. Ao mesmo tempo, permitir visualizar os inter-relacionamentos dos fatores de nível mais baixo;
- O desenvolvimento dos sistemas naturais montados hierarquicamente, é muito mais eficiente do que os montados de forma geral;
- As hierarquias são estáveis, pois pequenas modificações têm efeitos pequenos e flexíveis. Adições a uma hierarquia bem estruturada não perturbam o desempenho.

2.5 - Limitações do Método

- Uma análise cuidadosa deve ser desenvolvida para identificar e caracterizar as propriedades dos níveis da hierarquia, que afetam o desempenho do objetivo mais alto;
- Subjetividade na formulação da matriz de preferência;
- A priorização dos níveis mais altos da hierarquia deve ser feita com muito cuidado, por ser justamente aí onde o consenso se faz extremamente necessário, pois estas prioridades dirigirão o resto da hierarquia;
- Em cada nível, deve ser assegurado que os critérios representados são independentes ou, no mínimo, suficientemente diferentes;
- Os indivíduos envolvidos não devem levar idealismo demais e forte predisposição para liderança e ordem, ao unirem-se a qualquer processo de interação de grupo;
- Requer procedimento para estruturar o questionário de perguntas e preferências;
- Aumentando o número de alternativas, aumenta sensivelmente o trabalho computacional;
- A desvantagem do AHP é a quantidade de trabalho requerido aos decisores, para determinar todos os pares de comparação necessárias.

2.6 - Áreas de Pesquisa

O AHP é uma ferramenta que encontra uso em áreas com problemas simples aos mais complexos. Diariamente encontra mais e mais defensores, tanto na ciência aplicada, como na teórica. Abaixo são apresentados resumos de alguns estudos feitos, que têm o intuito de aperfeiçoar a técnica AHP.

Dependência e Independência no AHP

Normalmente na prática, em problemas complexos ocorrem noções de dependência e independência, entretanto por ter-se pouco conhecimento no sentido de manusear a dependência em geral, supõe-se independência. Isto porque, a independência é única e requer menos esforço. SAATY e TAKIZAWA (1986) apresentam um estudo para determinar como gerar prioridades de decisão, envolvendo apenas tipos gerais de dependência de critério com alternativas, critérios com critérios e alternativas com alternativas. O estudo está baseado na estrutura de sistema de *feedback* do AHP. A derivação de prioridades sob dependência, é vista como um caso especial.

São distinguidos dois tipos de dependência. A primeira dependência é funcional, semântica ou qualitativa e a segunda dependência é estrutural ou quantitativa.

A dependência funcional é o que normalmente se entende por dependência de um grupo de elementos com outro grupo, usados para a comparação. A dependência pode estar entre os grupos ou dentro do próprio grupo.

A dependência estrutural é o elo como os vários elementos estão envolvidos num grupo de comparações relativas, e como a escala derivada de valores relativos desses elementos é construída a partir da escala de julgamentos (tabela 2.1) usada para fazer as comparações.

Par de Comparação Incompleto

No AHP o problema é estruturado em forma de hierarquia, e pares de comparações são elucidados pelo grupo envolvido com o problema de decisão, para cada nível da hierarquia. Entretanto, uma das desvantagens do AHP é o número de comparações que devem ser feitas, a fim de completar todos os pares de comparação. Vários métodos são estudados, para reduzir a complexidade do processo de elucidação das preferências.

O *incomplete pairwise comparison* (IPC) é uma técnica desenvolvida por HARKER (1987) com o objetivo de reduzir o número de comparações, ordenando a resposta em valor informal decrescente e pelo processo de parada, quando o valor da questão decresce abaixo de um certo nível. A teoria do método se baseia na teoria dos grafos, e na inclinação do vetor direito de Perron (SAATY, 1991).

Neste método pelo menos $(n-1)$ comparações devem ser feitas, e deve-se ter certeza de haver no mínimo uma entrada "não-zero" em cada linha da matriz de pares de comparação, isto é, deve-se ter certeza de criar ao menos, um arco no diagrama orientado $D(A)$ associado com a matriz A . Assim, o diagrama $D(A)$ não é completamente ligado, como acontece quando todos os $n(n-1)/2$ de comparações são feitos. Dado um grupo de pares de comparação, não necessariamente completo, o qual constitui uma matriz recíproca $A = a_{ij}$, o diagrama orientado correspondente aos elementos positivos em A , é um diagrama reflexivo. Além disso, deve-se supor que este diagrama é sempre unido. Os elementos que estão faltando na matriz são encontrados tomando a média geométrica das intensidades dos caminhos, os quais unem dois atributos em $D(A)$. A posição triangular desta matriz é, então, calculada pela propriedade recíproca. Após a matriz ser atualizada, os pesos podem ser calculados pelo método de autovetor. O processo natural pode ser parado neste ponto, e w pode ser considerado o vetor final dos pesos, mas caso o decisor não fique satisfeito com o resultado final, mais comparações devem ser elucidadas. Naturalmente, o decisor deve poder saber qual julgamento é melhor, isto é, qual valor é mais confiável, e em que caso esta comparação deve ser feita de novo.

O próximo passo envolve a decisão de parar de executar os pares de comparação. Esta decisão pode ser tomada de três maneiras. A primeira maneira é subjetiva, - o decisor decide, se continua ou não, com o questionamento. A segunda condição: - se a diferença absoluta máxima do peso de uma questão é aproximadamente $\leq \alpha\%$, onde α é uma dada constante, então o processo pode ser parado, desde que a nova comparação não tenha uma

influência maior no peso. A terceira regra de parada é muito conservativa, no sentido de que as comparações irão continuar a serem feitas, até que se tenha certeza que a ordenação ordinal não seja invertida.

Questionamento Global Efetivo no AHP

Neste outro artigo MILLEN e HARKER (1990) propõem uma oportunidade adicional para reduzir os esforços, através do processo de elucidação efetiva global.

Quando o tamanho da hierarquia aumenta, o número de pares de comparação aumenta exponencialmente. Desde modo, muito freqüentemente, o decisor se cansa ao responder um grande número de comparações, e assim, seu julgamento se torna suspeito. O objetivo deste método é reduzir o número de pares de comparação, os quais são necessários para executar um razoável nível de precisão. Pela eficiência global, o processo vai além da eficiência de um dado nó, para a eficiência e a eficácia da hierarquia toda.

A primeira motivação entre as técnicas propostas é a utilização do atual peso global dos nós, como a principal entrada para o esforço do processo de alocação. É requerido maior esforço dos decisores quando fazem comparações para um nó, que tenha um alto impacto global nas prioridades finais.

A segunda idéia é que um nó com um peso global muito baixo, comparado com os outros nós examinados do mesmo nível, pode ser congelado. O processo de questionamento para cada um dos nós e para todos os nós abaixo pode ser completamente evitado, voltando a atenção para ramificações substanciais da hierarquia.

A terceira oportunidade para reduzir os esforços, é encontrar neste caso, onde o decisor quer somente identificar o melhor n dentro de m alternativas. Com os pesos relativos aproximados das alternativas sendo abertos, é proposto cessar a elucidação das relações para alternativas claramente inferiores.

O método GSR (Regra de Parada Global) amplia a primeira regra do IPC (Incomplete Pairwise Comparison) que dispõe que se a máxima diferença absoluta dos pesos de um subcritério, de uma questão com a próxima, for menor que uma constante fixada, o processo poderá parar, e sugere a proposta de parar o processo quando a seguinte condição é

atingida: $\text{Maxdif} \langle \text{Kstop} / (\sqrt{N} \cdot \text{GW}) \rangle$, onde: n é o número de nós de um dado nível, Maxdif é a diferença máxima absoluta no peso de uma questão pela próxima (esperada ou real), GW é o peso global do nó, Kstop é uma constante de parada fornecida pelo usuário.

O racional entre o GSR em $\text{Maxdif} \langle \text{Kstop} / (\sqrt{N} \cdot \text{GW}) \rangle$, é que $\text{Maxdif} \cdot \text{GW}$ representa o impacto global real no peso final das alternativas. Desde que, o processo de parada de cada um dos nós, cause algum erro no peso final das alternativas, deve-se considerar um efeito cumulativo do processo, assumindo independência de erros de cada um dos nós. O termo \sqrt{N} considera severamente os erros acumulados, devido à aplicação do GSR para todos os nós do mesmo nível.

A abordagem GSR pode drasticamente reduzir o número de questões, para parar o processo de comparação nos nós, onde as comparações não são necessárias, para se alcançar o peso final das alternativas. Naturalmente, a abordagem sugerida direciona mais atenção para os nós que estão no nível superior da hierarquia, desde que estes nós tenham maior peso global.

O artigo ainda sugere a Regra de Paralisação das Ramificações (BFR), como um critério para congelar um nó e seus descendentes: $\text{GW} \langle 1 / (N \times \text{Kcut}) \rangle$, onde: N é o número de nós de um mesmo nível e assim $1/N$ é o peso global esperado dos pesos, Kcut é uma constante suposta pelo usuário.

Física como Teoria da Decisão

Neste artigo SAATY (1990) mostra que existe uma relação matemática entre a física e o Processo Analítico Hierárquico. Ele argumenta que a escala numérica usada na física, interpreta o que os cientistas entendem, através da experiência e das teorias defendidas. Em física existem variáveis primárias e secundárias traduzidas em medidas de escala de relação. Deste modo, é mostrado que a composição hierárquica no AHP, trabalha de um modo similar a física.

Todos os dados medidos, sejam em física, engenharia ou sociologia, devem ser interpretados para serem entendidos. Tais números descrevem o grau de uma propriedade de um objeto ou mesmo de posse. Os números nos dizem quanto mais de uma propriedade um

objeto tem num dia, que noutra, ou quanto mais ele tem que outro, ou quanto mais ou menos que de um certo padrão.

A habilidade para determinar o significado das medidas é limitada. O entendimento de medidas depende da experiência e da percepção adquirida através da vivência, aprendizagem e do treinamento. A significância das medidas em diferentes escalas é um fenômeno cultivado através do condicionamento, não tem significado próprio. A conclusão é que o significado dos dados, é sempre interpretado subjetivamente, como interpretamos nosso estímulo com nosso sentido. O problema básico é criar uma estrutura científica para interpretar os dados. O AHP é uma teoria de decisão que diretamente interpreta dados e informações, formando julgamentos e desempenhando medidas de relação de escala, dentro de uma estrutura hierárquica prescrita.

Entre os diversos modos de combinar medidas que pertencem as diversas escalas de relação, duas têm relevância para esta discussão. Uma é para construir as medidas baseadas numa escala de relação num poder apropriado, e então multiplicar as escalas de peso resultante, obtendo assim uma escala multidimensional. Isto é o que se faz em física, pelo uso do poder de lei. Por exemplo, em $F = ma$, a medida de força é obtida diretamente, multiplicando a medida de massa e aceleração. O outro modo de combinar medidas, primeiro interpreta e re-escala as magnitudes de medida de acordo com a prioridade ou importância com respeito a cada um dos grupos de critérios, o qual transforma prioridades com respeito a um objetivo global. Essas prioridades são, então, multiplicadas por uma medida com respeito ao critério. Finalmente, as medidas correspondentes com respeito a cada critério são resumidas para obter uma escala unidimensional. Isto é o que se faz na abordagem AHP para a tomada de decisão multicriterial.

A física usa instrumentos de medidas, para representar as medidas. O que as medidas representam, devem ser interpretadas de acordo com a teoria que é aceita pelos especialistas. A teoria da decisão também transforma informações e dados em julgamentos, dentro de uma estrutura de referência, de uma hierarquia de critérios e objetivos, de um indivíduo ou de um grupo.

Combinando medidas no Processo Analítico Hierárquico surge uma forma multilinear e de tensor. Eles são a interface formal básica entre a medida hierárquica e a física.

Como outra interpretação prontamente entendível, nota-se que, apesar da subdivisão precisa que produz medidas precisas, a sensação de comprimento também difere entre pessoas. Valores numéricos para comprimento podem ter as mesmas medidas de diferentes pessoas, mas sua percepção e interpretação podem ser consideravelmente diferentes, assim as respostas para o comprimento dependem do estímulo da habilidade da pessoa para sentir e perceber.

Tem-se mostrado como o Processo Analítico Hierárquico com a fórmula Fechner podem gerar expressões conhecidas na física. Isto cria uma oportunidade para atender a abordagem básica de física, para incluir procedimentos para interpretar o resultado de medida. Ele pode ser feito pela extensão da hierarquia "hard" básica, para incluir critérios de julgamentos. De maneira oposta, ele tem sido bem estabelecido nas aplicações, sempre o AHP é usado em problemas científicos, aqui deve ter um nível ou níveis que incorporam dados científicos no domínio do problema. Esses dados não podem simplesmente ser substituídos pelo julgamento individual.

A diferença fundamental na estrutura de física e do processo multicriterial no Princípio Cosmológico da física, o qual supõe que o fenômeno de qualquer magnitude, e de qualquer ponto no tempo e espaço, pode ser diretamente comparado, usando a mesma escala homogênea de medida. Em decisões multicritérios, numa estrutura hierárquica é necessário decompor a complexidade dentro de níveis de entidades homogêneas, tal que a magnitude em um nível, difere em somente uma ordem de magnitude, em níveis acima ou abaixo dele. Dado que todos aprendem tomando lugar através de comparações graduais, é difícil aceitar o uso irrestrito de escalas homogêneas para medir todos os objetos, dividindo um atributo. A questão permanece, como podemos satisfatoriamente manusear problemas complexos no nosso nível de entendimento e definir uma escala física num universo gigante, sem recorrer a decomposição e comparação, unindo amplamente as entidades dispersas, que observamos ser essencial para qualquer estrutura na interpretação do significado de medida.

O AHP tem sido exaustivamente estudado. Outras áreas nas quais a pesquisa se concentra são (VARGAS, 1990):

- ❑ A escala utilizada para transformar julgamentos qualitativos numa escala numérica.

- Os tipos de julgamento usados:**
 - aleatório
 - intervalo
 - *time dependent and fuzzy*
- O número de julgamentos utilizados, i. e., *incomplete pairwise comparison*.**
- O princípio da composição da hierarquia e a interligação dos elementos e níveis.**
- medida de inconsistência.**
- os casos contínuos de matrizes recíprocas**
- grupos de julgamentos e consensos**
- métodos para estimar as escalas fundamentais**
 - método do autovetor.
 - *the logarithmic least squares-method*
 - *the least squares method*.
- relação do AHP com outras teorias de multicritérios.**

2.7 - Conclusão

O AHP é um método útil para analistas e tomadores de decisão, na resolução de problemas complexos. Ele é útil também, quando diversos interesses, sociais, culturais, políticos, etc, estão envolvidos e o número de pessoas que participam do processo é grande. Um aspecto que deve ser ressaltado, é que o modelo é multicriterial, eliminando por princípio a idéia, de que apenas os aspectos econômico--financeiros ou técnicos devam prevalecer na tomada de decisão. Os julgamentos aplicados no modelo são uma construção pessoal dos tomadores de decisão (percepção, experiência, tendência e contribuição).

Aqui o debate pode ser aproveitado e diversas respostas (resultados) devem ser desenvolvidos. Os resultados devem ser pesados pela prioridade do indivíduo correspondente, de acordo com a relevância individual para o problema.

O AHP é um método simples e claro, fácil de ser explicado aos decisores, permitindo a interação entre o analista e o decisor.

A maior dificuldade encontrada no uso do AHP é a necessidade de um grande número de julgamentos. Se o problema é complexo, requer uma cuidadosa análise. Assim às vezes, seria necessário elucidar julgamentos. As pessoas podem estar cansadas e precisam retornar para o processo, depois de algum descanso. Problemas mais complexos necessitam de alguns dias para este tipo de participação. Além disso, o AHP chama para a ocasional repetição do processo, para se ter a certeza de que os participantes não mudaram de opinião drasticamente.

A única restrição na estruturação de uma hierarquia, é que qualquer elemento de um nível pode ser comparado com respeito a alguns elementos no nível imediatamente acima. Um forte aspecto do AHP é que o conhecimento individual, o qual supõe julgamentos para o par de comparação, normalmente também representa uma regra proeminente específica à hierarquia. Agora fica claro, que o esquema de uma análise hierárquica, necessita de um conhecimento substancial do sistema em questão, durante a estruturação do problema.

Capítulo 3

MACBETH

Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique

3 - Introdução

Neste capítulo, será enfatizado a fundamentação teórica da metodologia de apoio à tomada de decisão: MACBETH.

O desenvolvimento deste capítulo inicia-se com a descrição sucinta do método, seguido da explicação detalhada dos passos a serem seguidos quando da sua utilização.

O capítulo está dividido em três partes:

A primeira parte consiste na estruturação do problema. A identificação dos PV's, seus descritores, e níveis de impacto.

A segunda parte abre um parênteses entre a fase de estruturação e a fase de avaliação, para apresentar o modelo utilizado pelo método quando da avaliação das preferências dos decisores, o modo de quantificar os julgamentos, a construção da escala numérica e a consistência da escala.

A terceira parte descreve a fase de avaliação propriamente dita. Nesta parte será avaliada cada proposta separadamente, seguido da avaliação global. E por fim, serão relatadas as conclusões baseadas nas seções anteriores.

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

O MACBETH - "Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique", é uma técnica de análise de decisão de múltiplos critérios desenvolvido por Carlos A. Bana e Costa e J. C. Vansnisck (1994), na década de 90.

O MACBETH - é um método que permite representar numericamente os julgamentos dos decisores sobre a atratividade global das ações, unindo a representação numérica da informação, com os critérios, dentro de um modelo de avaliação global, é uma abordagem interativa que auxilia a construção de medidas cardinais de julgamentos sobre o grau (de atratividade) para o qual os elementos de um grupo de ações potenciais finito "A" possui critérios "P".

O MACBETH é útil na fase de avaliação de um processo de apoio à decisão, auxilia a construção de uma função de critério *cardinal* para cada ponto de vista, e para determinar os parâmetros unidos com a informação intercritérios num dado procedimento de agregação multicriterial.

O MACBETH, assim como o AHP e outros métodos multicritérios de apoio à decisão, compreende duas importantes fases, de estruturação e de avaliação.

Apesar do modelo estar dividido em duas etapas, não existe a etapa mais ou menos importante. As duas etapas estão interligadas e colaboram em conjunto para a melhor solução a ser adotada.

No MACBETH, a estruturação consiste em:

- ❑ **Identificação dos critérios de rejeição e da *família dos pontos de vista fundamentais* (PVF's), que são relevantes e que podem ser definidos como critérios de representação dos valores dos decisores;**
- ❑ **Definição do indicador ou sistemas de indicadores que permitirão operacionalizar cada PVF através da construção de um descriptor dos níveis de Impacto plausíveis das alternativas segundo esse PVF;**

- Construção de uma matriz de juízo de preferência** de cada PVF para avaliar a importância relativa dos níveis;
- Ordenação dos PVF's** segundo o juízo de valores dos decisores;
- Construção de uma matriz de juízo de valores dos PVF's**, para identificar a importância relativa dos PVF's ou equivalentemente suas taxas de substituição.

A Fase de avaliação consiste em:

- Identificar o impacto das alternativas** em cada PVF;
- Calcular o valor global** de cada alternativa segundo o modelo de juízo de preferência construído na fase de estruturação;
- Hierarquizar as alternativas** segundo seu valor global e **analisar a sensibilidade** de cada valor segundo os juízos de valores estabelecidos.

3.2 - Fase de Estruturação

A fase de estruturação é a fase de entendimento do problema, na qual é analisado o ambiente onde está inserido, e são identificadas as possíveis situações que exigem decisão, através da busca detalhada e concisa de informações, para que a decisão seja tomada de maneira segura e precisa. É necessário saber qual o contexto de decisão, onde se pretende uma descrição exaustiva.

A concepção do sistema de informação deve seguir de perto o desenvolvimento do modelo de avaliação, julgando a sua exequibilidade e articulando-se com as necessidades deste, para produzir o que no conjunto designamos por sistema de apoio à decisão. A aplicação do sistema a uma amostra significativa, permitirá avaliar o grau de convergência entre as soluções pretendidas e propostas e, eventualmente, proceder a ajustamentos do modelo.

Qualquer projeto visa obter vantagens com a sua aplicação, sejam eles ambientais, culturais, políticos, sociais, econômicos, financeiros, etc. Por esse motivo, para que seja tomada uma decisão sólida, procura-se prever os seus resultados, identificando suas vantagens, desvantagens e limitações para uma futura avaliação. Desde modo, é necessário descrever as características do problema em questão, o meio em que será desenvolvido e as atividades concernentes a ele, visando alcançar objetivos pré-determinados.

A fase de estruturação procura analisar um conjunto de informações que, em casos reais, são caracterizadas pela falta, pela ambigüidade e pela imprecisão, das mesmas, as quais fornecem elementos de juízo aos decisores, que só serão importantes se contribuírem para todo o objetivo.

A principal característica de qualquer problema é a complexidade que o envolve, e alguns pontos que contribuem para a complexidade da situação (BANA, 1988) são:

- Raramente, a decisão é tomada por apenas uma pessoa, o decisor. Normalmente vários decisores estão envolvidos no processo. Esses decisores, são distribuídos numa hierarquia, e o nível depende da sua força para influir, ou interferir no processo de decisão;

- ❑ Os diversos objetivos e critérios de decisão que são definidos pelos diversos decisores. Cada decisor tem o seu próprio ponto de vista, e cada um irá avaliar de acordo com seu interesse particular. Esses decisores terão diferentes ações e objetivos, criando assim competição e conflito;
- ❑ A dificuldade para definir todas as conseqüências das possíveis ações. Frequentemente, o grupo de ações a serem avaliadas é fixo, no sentido que um primeiro grupo de possíveis ações normalmente leva a uma segunda ação, como resultado da negociação entre os decisores;
- ❑ O dever de explicar a escolha de uma forma clara e não ambígua. As pessoas têm diferentes níveis de incerteza, e tendem a se sentir particularmente expostas, quando é pedido que revelem a sua opinião. Assim, a decisão deve estar apoiada por um processo formal e claro na avaliação das ações, a fim de ajudar o decisor a determinar suas vantagens e desvantagens comparativas e, selecionar a solução mais conveniente.

O primeiro passo da estruturação é a identificação do objetivo principal que se quer atingir, seguido da hierarquização dos decisores envolvidos na resolução do problema. No topo da hierarquia deverá estar o decisor principal, que é aquela pessoa que no final do processo dirá: "faça-se" (executem).

Uma vez identificados os decisores e o objetivo principal, passa-se para a fase de decomposição, onde o problema deve ser detalhado de maneira a se obter os pontos relevantes para a sua solução. Neste passo o processo de estruturação consistirá na:

3.2.1 - Identificação dos Pontos de Vista Fundamentais (PVF's).

Não existe uma fórmula pré-definida para a elaboração dos PVs. Eles são formados, principalmente, através de informações subjetivas e pela experiência dos decisores envolvidos. Estes elementos não estão em nenhuma base de dados, resumem-se ao conhecimento adquirido.

Para a identificação dos PV's, é pedido aos decisores que selecionem um número finito de pontos de vista fundamentais, e se necessário para um melhor entendimento do problema, em pontos de vista elementares (PVE's) bem definidos, relacionados às

necessidades e preferências, que facilitem a resolução do problema proposto. Os PVF's devem explicitar os valores dos decisores considerados importantes para a avaliação das ações, isto é, a identificação dos requisitos dos PVs; [PV_j, j=1,...,n] é que irá tornar explícito os valores relevantes dos decisores na fase de avaliação.

As propriedades desejáveis num grupo de pontos de vista em qualquer problema de tomada de decisão, conforme Keeney e Raiffa (1976) são:

- *completa (exaustividade)*, que cubra todos os aspectos importantes do problema;
- *operacional*, porque deve ser principalmente útil na análise;
- *não-redundante*, para que os impactos não sejam duplamente avaliados. Do ponto de vista conceitual, a interdependência é importante porque todo aspecto pode ser sobreavaliado se houver dependência com outros aspectos considerados fundamentais;
- *mínima*, o número de pontos de vista não deve ser muito grande, lembrando-se o estudo de Miller [1956], sobre o limite psicológico de 7 ± 2 itens, por outro lado o número não deve ser tão pequeno, ao ponto de se correr o risco de deixar de fora aspectos importantes para a avaliação, sendo assim as dimensões devem se manter tão pequenas quanto possível.

Os pontos de vista selecionados serão analisados, e através de questionamentos aos decisores serão definidos quais devem fazer parte do estudo, lembrando que estarão envolvidos diversos indivíduos com diferentes níveis de conhecimento e diferentes personalidades. O questionamento feito aos decisores se resumem em dois tipos de perguntas: **Por que este ponto de vista é importante?** e **Para que é importante?**

Os pontos de vista podem ter tanto características qualitativas, quanto quantitativas. Por exemplo, se o objetivo principal da decisão se refere à compra de um carro, o PV₁, pode-se referir ao conforto que o carro oferece, que é uma característica qualitativa, enquanto o PV₂, pode referir-se aos planos de financiamento disponíveis, que é uma característica quantitativa. Ambos os PV's deverão ser levados em consideração, no momento da avaliação, de qual carro será adquirido.

Para que um ponto de vista seja considerado fundamental, devem ser respeitadas duas propriedades: (vontade consensual e isolabilidade)

- ❑ É necessário que exista uma vontade consensual entre os intervenientes do processo de decisão, de submeter esta ação a uma avaliação parcial;
- ❑ É necessário que o ponto de vista seja independente, isto é, o ponto de vista deve ser isolável. Deve ser possível e desejável avaliar as ações segundo um ponto de vista independentemente dos seus impactos perante outro ponto de vista.

A indicação de que o ponto de vista é fundamental, é quando o decisor ao ser interrogado, chegar numa situação onde ele responderá: - **Este aspecto em questão "é importante porque é importante"**. Enquanto houver a cadeia, em que os decisores ao serem questionados: - **Por que esse aspecto é importante?**, responderem: - **É importante porque contribui para alcançar este valor**, o que se tem são pontos de vista elementares, que são meios para alcançar outros pontos de vista mais fundamentais.

Em paralelo à identificação dos elementos importantes para a avaliação do problema é construído pelo analista um mapa cognitivo, que representa onde os elementos vão se ligando. Em seguida, para uma melhor visualização, e ainda para facilitar o processo condicente à identificação dos PVF's, é construída uma representação de estrutura arborescente com vários níveis de identificação. Nesta estrutura serão diferenciados, o ponto de vista global, os pontos de vista fundamentais e os pontos de vista elementares, tal como a fig.3.1. Os PVF's podem situar-se em qualquer nó da árvore.

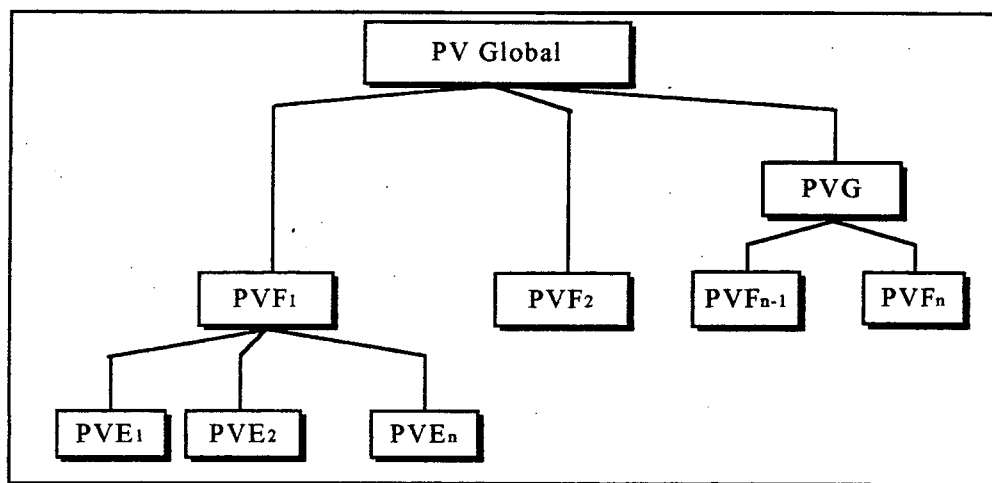


Fig. 3.1 - Estrutura Arborescente Básica.

Após a identificação dos PV's, é necessário torná-los operacionais.

3.2.2 - Operacionalização dos Pontos de Vista (PV's)

Operacionalizar os PVF's, significa, encontrar um indicador, ou um conjunto de indicadores que permitam identificar o mais autenticamente possível o nível de impacto que uma determinada ação trará para um determinado ponto de vista.

Modelo de impacto é um modelo que pretende descrever, de forma operacional, seja qualitativa, seja quantitativamente o nível de satisfação do valor que torna explícito o PVF. A cada PVF deve ser associado um descritor:

Uma decomposição completa e eficiente de cada ponto de vista deve (BANA; VANSNICK, 1994):

- Identificar e construir um grupo de níveis de impacto, N_j ;
- Definir uma *escala de impacto ordinal* em \mathfrak{R} , do conjunto de níveis de impacto, N_j , para o decisor;
- Identificar para cada ação potencial a , um indicador de impacto, $I_j(a)$, com respeito a cada PV.

3.2.2.1 - Níveis de Impacto - Escala de Impacto

A identificação e a construção dos níveis de impacto servem de base para descrever os impactos das ações com respeito a cada PV_j . Chama-se isso de descritor (atributo).

O descritor, como o nome indica, pretende fazer a descrição dos níveis de impacto das ações possíveis ou plausíveis em termos de PV, independente do impacto que possa causar sobre outros pontos de vista. Portanto, o descritor deve ser o mais objetivo possível. Ele deve ser definido com base em descrições da realidade desejável, não dependendo dos interesses, dos gostos e das ações dos decisores. O descritor pode ser natural ou construído, discreto ou contínuo, qualitativo ou quantitativo.

Um descritor deve incorporar todos os fatores que, segundo o juízo de valores dos decisores, representem um aspecto diferencial. Sempre que um ponto de vista puder ser representado por PVE, estes devem fazer parte do descritor, na sua ausência o descritor poderá ser formado por aspectos considerados relevantes pelos decisores, quando isto também não estiver disponível, pode-se valer dos atributos das alternativas que o contêm. Quando necessário, poderá também se utilizar das três formas conjuntamente para gerar os descritores.

Na construção dos PV's, não dá para evitar a subjetividade. Entretanto na escolha dos indicadores, deve-se ser o mais objetivo possível evitando elementos com duplo significado. É imprescindível perceber que o importante é o PV e não os seus descritores. Os descritores são apenas formas de tornar explícito e inteligível um determinado ponto de vista.

De posse dos descritores a etapa que se segue é a de hierarquização. O descritor é decomposto em níveis de impacto por ordem de atratividade, os quais modelam a atratividade local, isto é, em termos de ponto de vista, os níveis de impacto do descritor são determinados ordenadamente.

Com a dificuldade normal que os decisores encontram em fazer a ordenação uma possível regra para fazê-lo, consiste em construir uma matriz, com os níveis de impacto nas abcissas e ordenadas. Ao decisor é pedido que expresse a sua opinião respondendo as perguntas do tipo:

a_1 é mais atrativo que a_2 ? Sim ou Não.

a_1 é mais atrativo que a_n ? Sim ou Não.

E assim por diante, até que todas as alternativas tenham sido comparadas. A resposta Sim corresponde ao número um, Não, corresponde ao 0. A matriz será preenchida com zeros e uns. A seguir faz-se o somatório das linhas e obtém-se as preferências ordenadas, conf. fig.3.2.

	a ₁	a ₂	a ₃	a ₄	Σ
a ₁	•	1	1	0	2
a ₂	0	•	1	0	1
a ₃	0	0	•	0	0
a ₄	1	1	1	•	3

Fig. 3.2 - Matriz de Ordenação dos Níveis.

Agora com os níveis ordenados, uma nova matriz é construída em ordem decrescente de atratividade, e um novo julgamento será feito, onde o decisor irá expressar a diferença de atratividade de cada par de comparação, por uma das seis categorias que são: muito fraca (1); fraca (2); moderada (3); forte (4); muito forte (5); e extrema (6), conf. fig.3.3.

	a ₄	a ₁	a ₂	a ₃
a ₄	•	4	5	6
a ₁	•	•	4	5
a ₂	•	•	•	4
a ₃	•	•	•	•

Fig. 3.3 - Matriz de Julgamento dos Níveis.

Em seguida, a escala dos níveis poderá ser obtida através do MACBETH.

Entretanto, é necessário julgar a diferença de atratividade entre os níveis, comparando os níveis par-a-par, e através do MACBETH definir a escala de impacto. Cada Ponto de Vista tem a sua escala independente.

O indicador de impacto pode ser pontual (discreto), se não houver incerteza, e não pontual (contínuo) se houver incerteza, indefinição. E como já foi dito anteriormente, o nível de impacto pode ter um ou um conjunto de atributos.

3.2.3 - Importância Relativa dos PVF's

Depois de se obter os níveis de impacto de cada PVF, é preciso determinar a importância relativa entre eles. Uma maneira de se obter a importância relativa é, comparar a melhor e a pior situação de cada PVF, conforme figura 3.4.

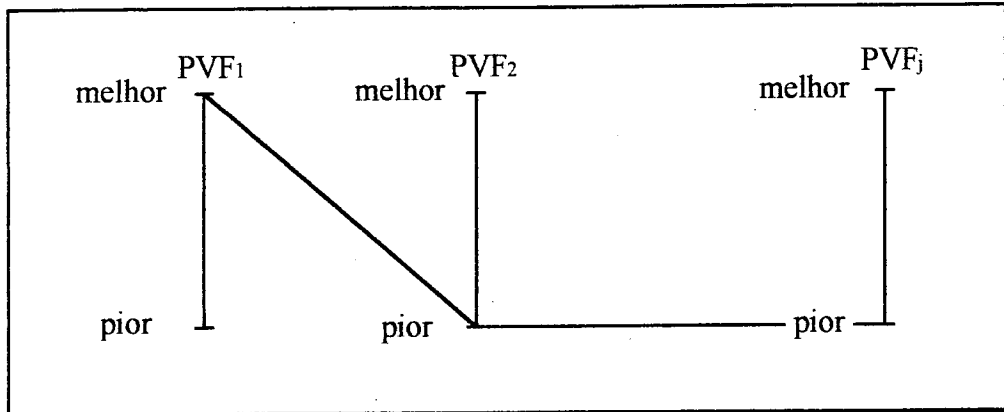


Fig. 3.4 - Importância Relativa dos PVF's

Determinar todas as situações possíveis de ocorrer:

$$V(\text{PVF}_1(\text{pior}); \text{PVF}_2(\text{pior}); \dots; \text{PVF}_j(\text{pior})) = a_0$$

$$V(\text{PVF}_1(\text{melhor}); \text{PVF}_2(\text{pior}); \dots; \text{PVF}_j(\text{pior})) = a_1$$

$$V(\text{PVF}_1(\text{pior}); \text{PVF}_2(\text{melhor}); \dots; \text{PVF}_j(\text{pior})) = a_2$$

$$V(\text{PVF}_1(\text{pior}); \text{PVF}_2(\text{pior}); \dots; \text{PVF}_j(\text{melhor})) = a_3$$

$$V(\text{PVF}_1(\text{pior}); \text{PVF}_2(\text{pior}); \dots; \text{PVF}_j(\text{pior})) = a_{\dots}$$

$$V(\text{PVF}_1(\text{melhor}); \text{PVF}_2(\text{melhor}); \dots; \text{PVF}_j(\text{melhor})) = a_n$$

O decisor deverá julgar o que é mais atrativo: - Passar da situação a_0 para situação a_1 ou passar da situação a_0 para a_2 ? O processo continua até que todas as comparações tenham sido feitas. O resultado dessas comparações é a ordenação dos PVF's.

Para determinar os fatores de escala, os decisores irão julgar **quanto** a_i é mais atrativo que " a_j ", sendo $\forall i, j (i \neq j, 1, \dots, n)$. Estas comparações são colocadas numa matriz em ordem decrescente de atratividade. O decisor irá quantificar os seus julgamentos, utilizando as seis categorias $C_1, C_2, C_3, C_4, C_5, C_6$. Seguido pela construção de escala cardinal determinada pelo MACBETH. Deste modo, obtém-se a importância relativa de cada PV. Cada ponto de vista tem a sua escala independente.

Neste ponto a fase de estruturação do problema esta terminada, isto é, foi definido **o modelo de avaliação**.

De acordo com o que foi exposto, é importante que o modelo de avaliação possa ser alimentado por um sistema de informação, que registre os dados relevantes ao processo decisório nos seus diversos níveis e construa adequados indicadores de síntese. Um pressuposto metodológico para a concepção de um sistema de definição de prioridades, é que não tenha um caráter fechado e estático, devendo ser dinâmico para permitir ajustamentos futuros, importantes para a melhoria da sua operacionalidade, e normalmente decorrente do processo de aprendizagem do problema que o decisor é exposto quando da utilização da abordagem MACBETH. A metodologia deve permitir atender aos requisitos de automatismo, transparência e flexibilidade de uso.

O paradigma da aprendizagem reza que "A construção de um modelo para apoiar a elaboração de juízos de valor passa por uma fase de estudo, em que a problemática técnica é de *ajudar a estruturar*. A estruturação tem uma natureza recursiva e um caráter misto de ciência, (Majone, 1984), que provém da ausência de métodos matemáticos para a conduzi-la, e que torna impossível conceber um procedimento genérico de estruturação, cuja aplicação possa garantir a *unicidade* e a *validade* do modelo construído (BANA, 1993a).

Von Winderfeldt & Edwards, (1986) apud BANA (1995a), fazem uma advertência quando da estruturação: "Cuidado, o problema não deve ser estruturado muito depressa, isto é, o conjunto de PVF não deve ser escolhido muito rápido, de modo a levar a armadilha da análise da decisão, produzindo uma solução sofisticada para o problema errado".

Quer dizer com isso, que a estruturação feita muito rapidamente, pode levar a um modelo que não corresponde ao problema que o decisor enfrenta, e que precisa de uma solução, porque o problema foi mal estruturado. Conseqüentemente será obtida uma solução ruim, e pode inclusive levar a soluções que não correspondem à solução do problema.

Após a fase de estruturação, passa-se para a fase de avaliação. Entretanto, abriu-se um parêntese para apresentar o Modelo MACBETH para avaliar a preferência dos decisores, o modo de quantificar os julgamentos, a construção da escala e a consistência da escala.

3.3 - Modelo MACBETH para Análise

3.3.1 - Julgamento - Avaliação das Preferências dos Decisores

O que será julgado, é o conjunto de características das representações das ações, e não as características da ação propriamente dita.

Nesta metodologia, as propostas são avaliadas comparativamente, através de questionamentos feitos pelo analista aos decisores. O questionamento é claro e direto, envolvendo apenas dois elementos em cada questão, e utiliza a *noção de diferença de atratividade*.

Para determinar a escala de preferências, a idéia básica do MACBETH é:

- ❑ Construir uma matriz para determinar as preferências dos decisores. Ao avaliador é pedido que julgue qual entre duas propostas de referência, é globalmente mais atrativa. O juízo é feito de forma binária e relativa. Ao decisor é pedido que responda: Dado uma proposta **a** e uma **b**, **a** é mais atrativa que **b** ? A resposta será dada na forma de: - sim ou não, - $(a P b) = a$ é preferível a **b**, - $(b P a) = b$ é preferível a **a**, - $(a I b) = a$ é indiferente a **b**. A seguir a matriz é refeita, e os elementos são colocados na nova matriz em forma decrescente de atratividade.
- ❑ Num segundo passo, o analista irá pedir ao decisor que quantifique os julgamentos, isto é, o decisor irá deste modo quantificar seus julgamentos, quanto ao *grau de atratividade* de uma ação em relação a outra ação.

3.3.2 - Modelo Matemático

A abordagem supõe as seguintes hipóteses:

- A relação binária \mathbf{P} que modela os julgamentos ordinais de atratividade do decisor sobre os elementos de \mathbf{A} , é assimétrica, negativamente transitiva e relacionada.

- $\mathbf{A} = \{a_1, a_2, \dots, a_{n-1}, a_n\}$, tal que:

$\forall i \neq j \in \{1, 2, \dots, n\}; a_i \mathbf{P} a_j \Leftrightarrow i > j$, isto é,

A completa ordenação dos elementos de \mathbf{A} por ordem decrescente de atratividade é $a_n \mathbf{P} a_{n-1} \mathbf{P} \dots \mathbf{P} a_2 \mathbf{P} a_1$. Nestas condições, o julgamento absoluto dos decisores da diferença de atratividade entre os elementos de \mathbf{A} é suficiente para definir linha por linha a matriz $(n \times n)$:

	a_n	a_{n-1}	\dots	a_2	a_1
a_n	•	$a_{n,n-1}$	\dots	$a_{n,2}$	$a_{n,1}$
a_{n-1}	•	•	\dots	$a_{n-1,2}$	$a_{n-1,1}$
\vdots			•	\vdots	\vdots
a_2	•	•	•	•	$a_{2,1}$
a_1	•	•	•	•	•

onde: $\forall i > j \in \{1, 2, \dots, n\}$ e $\forall k \in \{1, 2, 3, 4, 5, 6\}; a_{i,j} = k \Leftrightarrow (a_i, a_j) \in C_k$.

Fig. 3.5 - Matriz de Julgamento.

Esta matriz se torna necessária para propor ao decisor uma escala.

3.3.3 - Quantificação dos Julgamentos

O decisor expressará um *juízo absoluto* sobre a diferença de atratividade, determinando o par de comparação (a,b) por uma das seis categorias:

Tabela 3.1: Escala Semântica de Julgamentos MACBETH.

Categoria	Definição
C1	Diferença insignificante de atratividade
C2	Fraca diferença de atratividade
C3	Diferença moderada de atratividade
C4	Forte diferença de atratividade
C5	Diferença muito forte
C6	Diferença extrema (absoluta) de atratividade

A cada uma das categorias ($C_1, C_2, C_3, C_4, C_5, C_6$) é associado um intervalo em \mathcal{R}^1 .

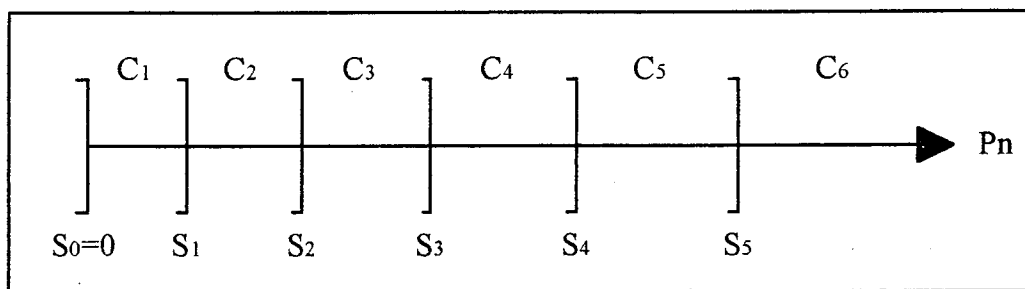


Fig. 3.6 - Intervalo \mathcal{R}^1 das Categorias de Julgamento.

Os julgamentos devem ser colocados no centro da categoria ou o mais próximo possível, para garantir o máximo de homogeneidade. Os juízos que pertencerem a mesma categoria devem estar próximos entre si.

Os limites que definem os intervalos são determinados simultaneamente com a escala numérica, que é encontrada pelo MACBETH (por programação linear), que melhor concilie os juízos expressos. As escalas de atratividade são construídas sobre os descritores.

3.3.4 - Construção da Escala Numérica

O primeiro passo é representar numericamente o julgamento do decisor da diferença de atratividade entre os níveis de impacto (descriptor) de cada PV, construindo uma escala numérica de $v: \mathbf{A} \rightarrow \mathcal{R}: a \rightarrow v(a)$, onde $\mathbf{A} = \{a, b, c, \dots\}$ é um grupo finito de ações potenciais, e $v(a)$ é a representação numérica da atratividade da ação a , tal que satisfaça não somente:

1) Condição ordinal: $\forall a, b \in \mathbf{A}$

Se o decisor julgar a mais atrativo que b , ($a \mathbf{P} b$), então: $v(a) > v(b)$

A diferença de atratividade entre a e b , sentida pelo decisor é representada por: $v(a) - v(b)$.

Mas também,

2) Condição cardinal: $\forall a, b, c, d \in \mathbf{A}$ com $a \mathbf{P} b$ e $c \mathbf{P} d$,

A relação que o decisor sente com maior ou menor precisão da diferença de atratividade entre a e b por c e d é refletida por: $\frac{v(a) - v(b)}{v(c) - v(d)}$.

Obviamente, a diferença de atratividade entre a e b é maior que a diferença entre c e d , isto é,

$$[v(a) - v(b)] [v(c) - v(d)] [v(a) - v(b) > [v(c) - v(d)].$$

Resumindo, o MACBETH irá associar os julgamentos com números reais $v(a)$ e a um intervalo em \mathcal{R}^1 , dentro de uma escala com $S_0, S_1, S_2, S_3, S_4, S_5$ de modo que:

$$3) 0 = S_0 < S_1 < S_2 < S_3 < S_4 < S_5$$

4) $\forall a, b \in \mathbf{A}$:

$$\begin{cases} \forall k \in \{1, 2, 3, 4, 5\}: s_{k-1} < v(a) - v(b) \leq s_k \Leftrightarrow (a, b) \in C_k, k \neq 6, \\ s_5 < v(a) - v(b) \Leftrightarrow (a, b) \in C_6 \end{cases}$$

OBS.: As vezes é mais importante utilizar a noção de "atrativo" e "repulsivo", ao invés de construir a escala.

3.3.5 - Consistência

Os julgamentos dos decisores, conforme cada PV, são colocados numa matriz em ordem decrescente de atratividade, isto é $a_n P a_{n-1} \dots P \dots P a_1$ desde modo é definido cada linha da matriz.

	a_n	a_{n-1}	\dots	a_2	a_1
a_n	•	$a_{n,n-1}$	\dots	$a_{n,2}$	$a_{n,1}$
a_{n-1}	•	•	\dots	$a_{n-1,2}$	$a_{n-1,1}$
\vdots	•	•	•	\vdots	\vdots
a_2	•	•	•	•	$a_{2,1}$
a_1	•	•	•	•	•

onde: $\forall i > j \in \{1, 2, \dots, n\}$ e $\forall k \in \{1, 2, 3, 4, 5, 6\}: a_{i,j} = k \Leftrightarrow (a_i, a_j) \in C_k$.

O número mínimo de julgamentos necessários para a construção da matriz é $(n-1)$, onde n é o número de elementos da matriz, e o número máximo é $n(n-1)/2$.

Algumas condições lógicas devem ser verificadas para garantir a existência de números reais, isto feito através da função de valor, $v(\circ): \mathbf{A} \rightarrow \mathbf{R}: a \rightarrow v(a)$,

tal que:

$$v(a) \quad (a \in \mathbf{A})$$

e dos limites constantes:

$$S_0, S_1, S_2, S_3, S_4, S_5$$

verificando:

$$3) 0 = S_0 < S_1 < S_2 < S_3 < S_4 < S_5$$

$$4) \forall a, b \in \mathbf{A}:$$

$$\begin{cases} \forall k \in \{1, 2, 3, 4, 5\}: s_{k-1} < v(a) - v(b) \leq s_k \Leftrightarrow (a, b) \in C_k, k \neq 6, \\ s_5 < v(a) - v(b) \Leftrightarrow (a, b) \in C_6 \end{cases}$$

O MACBETH apresenta 3 maneiras de testar a consistência, que são:

- Condição de Consistência;
- Condição de Coerência Semântica;
- Condição de Coerência Teórica.

3.3.5.1 - Condição de Consistência

A princípio, nesta metodologia, o teste de consistência é muito fácil, e rápido de ser executado. Os elementos a_{ij} da matriz A serão checados e verifica-se:

- se em cada uma das linhas da matriz de julgamento, os valores de diferença de atratividade, a_{ij} , aumentam da esquerda para a direita;
- se em cada coluna da matriz de julgamento, os valores de diferença de atratividade, a_{ij} , diminuem de cima para baixo.

Este tipo de teste mostra imediatamente se a matriz é consistente, e caso contrario, qual(is) o(s) julgamento(s) que está(ão) causando problema. Quando a consistência não é verificada, ela deve ser pesquisada através de uma discussão interativa com o decisor, mudando um ou mais julgamentos iniciais. Deste modo, é criada uma condição de aprendizado.

3.3.5.2 - Condição de Coerência Semântica

A verificação da condição de coerência semântica, irá evitar situações onde a diferença *insignificante* de atratividade pode fazer julgamentos seqüenciais "pulando" mais de uma categoria, isto é, passar da categoria C_k , para C_{k+2} ou C_{k+3} ou mesmo maior.

Então:

$$\forall a, b \in \mathbf{A} \text{ e } \forall k \in \{1, 2, 3, 4, 5\}$$

$$\left. \begin{array}{l} (a, b) \in C_1 \text{ e } (b, c) \in C_k \\ \text{ou} \\ (a, b) \in C_k \text{ e } (b, c) \in C_1 \end{array} \right\} \Rightarrow (a, b) \in C_k \cup C_{k+1}$$

Do ponto de vista matemático, esta condição verificará os limites S_1, S_2, S_3, S_4, S_5 , da seguinte maneira:

$$\forall k \in \{2, 3, 4, 5, 6\}: S_k - S_{k-1} \geq S_1$$

Na prática, este teste é também muito fácil de ser executado diretamente na matriz de julgamento.

Os valores a_{ij} são chegados, e verifica-se: $\forall i, j \in \{1, 2, \dots, n\}$

tal que, $a_{ij} = 1$:

$$1) \forall p > i: a_{p,j} - a_{p,i} \leq 1$$

$$2) \forall q < j: a_{i,q} - a_{j,q} \leq 1$$

Caso a coerência semântica não seja verificada, este teste irá identificar a origem do problema, e os julgamentos iniciais do decisor poderão ser revisados.

3.3.5.3 - Coerência Teórica

Mesmo se as condições de consistência e de coerência semântica forem verificadas, uma última condição deve ser verificada:

$$\forall a, b \in A: \begin{cases} v(a) > v(b) \Leftrightarrow (a, b) \in P \\ v(a) > v(b) + s_1 \Leftrightarrow (a, b) \in P_{(>1)} \equiv C_2 \cup C_3 \cup C_4 \cup C_5 \cup C_6 \\ v(a) > v(b) + s_2 \Leftrightarrow (a, b) \in P_{(>2)} \equiv C_3 \cup C_4 \cup C_5 \cup C_6 \\ v(a) > v(b) + s_3 \Leftrightarrow (a, b) \in P_{(>3)} \equiv C_4 \cup C_5 \cup C_6 \\ v(a) > v(b) + s_4 \Leftrightarrow (a, b) \in P_{(>4)} \equiv C_5 \cup C_6 \\ v(a) > v(b) + s_5 \Leftrightarrow (a, b) \in P_{(>5)} \equiv C_6 \end{cases}$$

Isto demonstra que uma *representação por limites constantes* das relações binárias $P_{(>1)}, P_{(>2)}, P_{(>3)}, P_{(>4)}, P_{(>5)}$, deve ser possível.

Este teste não é fácil de ser executado na prática, deste modo foi desenvolvido um programa Mcl, que consiste em resolver os seguintes problemas de otimização por programação linear:

Função-objetivo: minimizar c

A diferença de atratividade entre duas ações deve estar no intervalo correspondente c , onde c , é uma variável auxiliar.

s.r.

r0) todas as variáveis ≥ 0 ;

r1) $S_1 = 1$ ($\Leftrightarrow S_1 - S_0 = 1$)

(a dimensão do intervalo correspondente a categoria C_1 – diferença insignificante de atratividade- é fixado como a unidade de diferença de atratividade).

r2) $S_k - S_{k-1} \geq 1, \forall k \in \{2, 3, 4, 5\}$

r3) $v(a_1) = 0$ onde $\forall a \in A, a P a_1$

(o valor da ação menos atrativa a_1 é arbitrariamente fixada igual a 0, isto não é restritivo);

r4) $v(a) - v(b) > 0, \forall a, b \in A: a P b$;

r5) $\forall k \in \{1, 2, 3, 4, 5\}, \forall (a, b) \in C_k: S_{k-1} - c < v(a) - v(b) \leq S_k + c$

r6) $\forall (a, b) \in C_6: S_5 - c < v(a) - v(b)$.

Este programa analisa a consistência cardinal do conjunto de juízos de diferença de atratividade, dados pelo decisor.

A solução "ótima" de C_{\min} pode ser tomada como um *Índice de Incoerência (teórica)*.

Para que o teste de coerência teórica o C_{\min} deve ser zero, $C_{\min} = 0$. Por outro lado, se $C_{\min} > 0$, é porque existe alguma incoerência nos julgamentos.

O MACBETH sugere o valor de escala na determinação dos valores que "melhor reconcilie" os julgamentos de incoerência através do programa Mc2, que resolve os problemas de otimização sob restrição por programação linear:

Função-objetivo:

$$\text{Min} \left\{ \sum_{\substack{(a,b) \in C_k, \\ k \in \{1,2,3,4,5\}}} [\varepsilon(a,b) + \eta(a,b)] + \sum_{(a,b) \in C_6} \alpha(a,b) \right\}$$

s. r.

r0) todas as variáveis ≥ 0 ;

r1) $s_1 = 1$ ($\Leftrightarrow s_1 - s_0 = 1$)

r2) $s_k - s_{k-1} \geq 1, \forall k \in \{2,3,4,5\}$

r3) $v(a_i) = 0$ onde $\forall a \in A, aPa_i$

r4) $v(a) - v(b) > 0, \forall a, b \in A: aPb$

r5') $\forall k \in \{1,2,3,4,5\}, \forall (a,b) \in C_k: S_{k-1} - c_{\min} < v(a) - v(b) \leq S_k + c_{\min}$;

r6') $\forall (a,b) \in C_6: S_5 - c_{\min} < v(a) - v(b)$;

r7') $\forall k \in \{1,2,3,4,5\}, \forall (a,b) \in C_k:$

$$v(a) - v(b) = (S_{k-1} + S_k) / 2 + \varepsilon(a,b) - \eta(a,b);$$

r8) $\forall (a,b) \in C_6: v(a) - v(b) = S_5 - \alpha(a,b) + \delta(a,b)$

A diferença de valor entre duas ações da categoria C_k ($k \neq 6$) deve ser o mais próximo possível da diferença de valor entre outro par de C_k , e ao mesmo tempo o mais afastado possível da diferença de valor entre ações de outra categoria. Em qualquer solução básica do Mc2, $\varepsilon(a,b) \cdot \eta(a,b) = 0$.

Este programa irá determinar os valores numéricos para a diferença de atratividade dos pares (a,b) , de uma mesma categoria.

Outro programa, o Mc3, foi desenvolvido por programação linear, para identificar quais os julgamentos estão causando problema, e partir para uma revisão nos julgamentos.

Este programa irá verificar os limites inferiores, S_{k-1} , e o superior, S_k , do intervalo que corresponde a C_k , definindo $v(a) - v(b)$ respectivamente, da seguinte maneira:

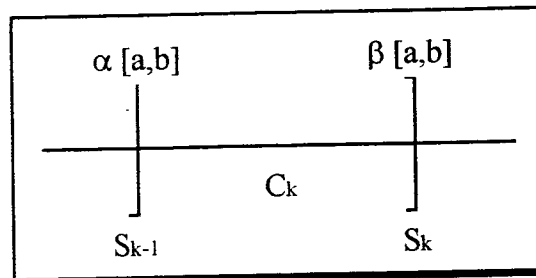


Fig.3.7 - Variáveis $\alpha(a,b)$ e $\beta(a,b)$ para C_k ($k \neq 6$)

□ limite inferior, S_{k-1} ,

$$\forall k \in \{2,3,4,5,6\}$$

$$\forall (a,b) \in C_k$$

sendo:

$\alpha(a,b)$ e $\delta(a,b)$, duas novas variáveis,

definidas por:

$$v(a) - v(b) = S_{k-1} - \alpha(a,b) + \delta(a,b)$$

□ limite superior, S_k ,

$$\forall k \in \{1,2,3,4,5\}$$

$$\forall (a,b) \in C_k$$

sendo:

$\beta(a,b)$ e $\gamma(a,b)$, duas outras variáveis não negativas,

definidas por:

$$v(a) - v(b) = S_k + \beta(a,b) - \gamma(a,b)$$

Se não houver consistência, o julgamento que está causando a inconsistência deve sair da categoria dada. É sugerido aos decisores uma nova matriz, um pouco alterada para se tornar consistente.

A determinação das variáveis $\alpha(a,b)$ e $\beta(a,b)$, permite a identificação do(s) par(es) (a,b) que é a causa dos problemas de incoerência. Para o caso em que, o número de pares identificados em Mc3 for muito grande, foi desenvolvido o programa Mc4, que restringe o número de modificações de categoria, para a obtenção da coerência dos julgamentos.

3.3.5.3.1 - Fluxograma do Processo Interativo do MACBETH

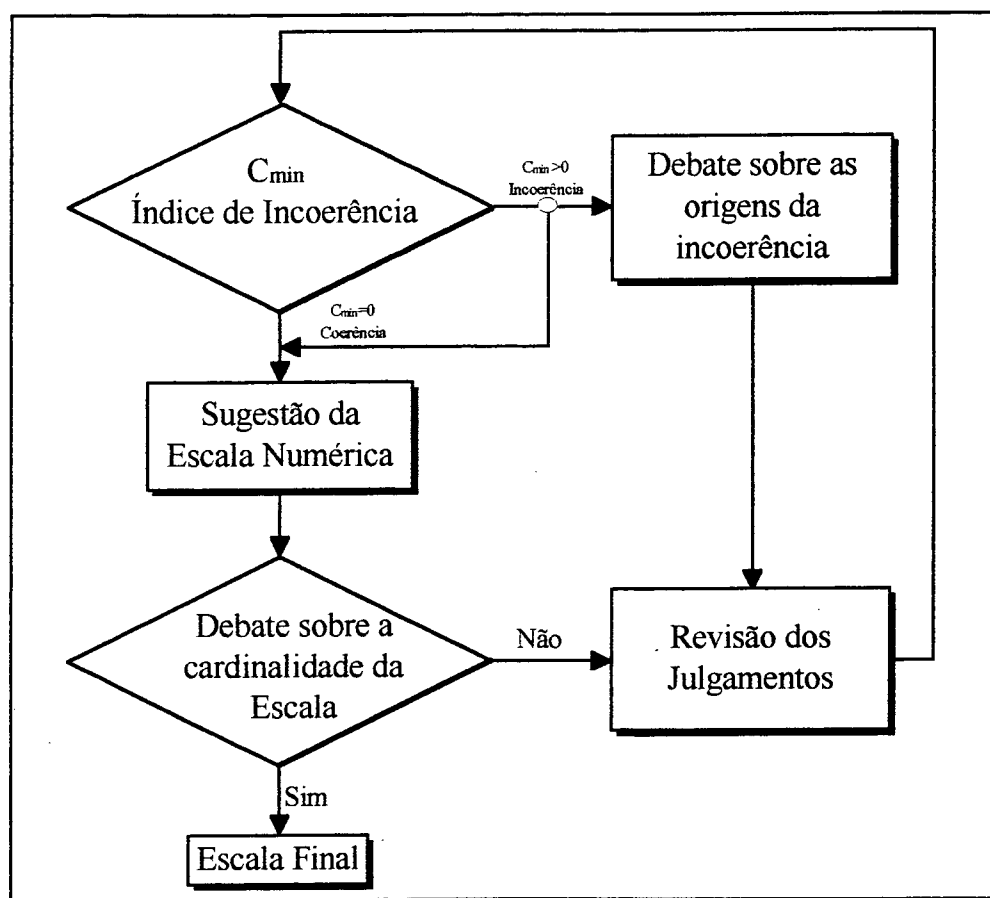


Fig. 3.8 - Fluxograma do Processo Interativo.

3.4 - Fase de Avaliação

Como foi visto no MACBETH, a avaliação das preferências dos decisores é feita através de julgamento, isto é, o decisor avalia a situação, forma uma opinião, e a seguir expressa o seu julgamento. Entretanto, quando o decisor avalia com julgamentos, a subjetividade certamente está presente. O julgamento varia de acordo com as preferências, sendo assim, ocorrerão diferentes graus de preferências entre os decisores. A avaliação da situação resulta do conhecimento e da experiência, ou simplesmente da forma como o problema é proposto ou visto.

A importância de utilizar julgamentos, quando da avaliação, é que este permite utilizar fatores tanto qualitativos, quanto quantitativos. Normalmente os julgamentos são feitos de forma simples, sem a necessidade de instrumentos sofisticados. Entretanto, é necessário certo cuidado, para que as preferências e interesses não sejam influenciados por bases erradas, através de desconhecimento e desinformação, os quais provocam o distanciamento do objetivo da realidade. É necessário que o decisor seja consistente no momento da avaliação.

3.4.1 - Avaliação das Propostas

A avaliação das propostas está dividida em duas partes: - Avaliação Parcial e Avaliação Global das alternativas.

3.4.1.1 - Avaliação Parcial das Propostas

Cada uma das n alternativas deve ser avaliada segundo cada PV. O decisor deverá apreciar cada proposta a , com base nos descritores definidos anteriormente. Cada proposta, segundo cada PV, terá um indicador de impacto, $I_j(a)$, correspondente em termos de níveis de impacto.

Constroe-se um quadro, que apresenta o impacto, $I_j(\mathbf{a})$, de cada uma das n soluções existentes ($\mathbf{a} = \mathbf{a}_1, \dots, \mathbf{a}_n$) sobre os PVF_j .

Impacto	\mathbf{a}_1	\mathbf{a}_2	\dots	\mathbf{a}_{n-1}	\mathbf{a}_n
I_1	$I_1(\mathbf{a}_1)$	$I_1(\mathbf{a}_2)$	\dots	$I_1(\mathbf{a}_{n-1})$	$I_1(\mathbf{a}_n)$
I_2	$I_2(\mathbf{a}_1)$	$I_2(\mathbf{a}_2)$	\dots	$I_2(\mathbf{a}_{n-1})$	$I_2(\mathbf{a}_n)$
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
I_{n-1}	$I_{n-1}(\mathbf{a}_1)$	$I_{n-1}(\mathbf{a}_2)$	\dots	$I_{n-1}(\mathbf{a}_{n-1})$	$I_{n-1}(\mathbf{a}_n)$
I_n	$I_n(\mathbf{a}_1)$	$I_n(\mathbf{a}_2)$	\dots	$I_n(\mathbf{a}_{n-1})$	$I_n(\mathbf{a}_n)$

Fig. 3.9 - Quadro de Impacto das Alternativas

A seguir é construída uma matriz de juízos absolutos de diferença de atratividade das alternativas segundo cada PV.

	\mathbf{a}_n	\mathbf{a}_{n-1}	\dots	\mathbf{a}_2	\mathbf{a}_1
\mathbf{a}_n	•	$\mathbf{a}_{n,n-1}$	\dots	$\mathbf{a}_{n,2}$	$\mathbf{a}_{n,1}$
\mathbf{a}_{n-1}	•	•	\dots	$\mathbf{a}_{n-1,2}$	$\mathbf{a}_{n-1,1}$
\vdots	•	•	•	\vdots	\vdots
\mathbf{a}_2	•	•	•	•	$\mathbf{a}_{2,1}$
\mathbf{a}_1	•	•	•	•	•

Fig.3.10 - Matriz de Julgamento

A base de aplicação de qualquer método de decisão multicritério é uma matriz de desempenho, onde cada elemento representa o desempenho parcial da alternativa, \mathbf{a}_i , $\forall i = 1, \dots, n$, pelo ponto de vista PV_j . Para cada PV corresponde uma ordenação específica de todas as alternativas, o desempenho parcial será expresso de forma qualitativa ou quantitativa.

Os impactos são valorados pela construção de uma *função-critério cardinal* v_j para cada critério, o qual resulta no valor parcial $v_j(\mathbf{a})$ de cada proposta, segundo cada PV.

Em termos estritos dos valores de cada PVF, a cada nível de impacto do descritor respectivo, será atribuída uma ponderação. Para isso, é preciso primeiro selecionar o método de agregação.

3.4.2 - Seleção do Método Multicritério de Agregação

Uma das questões mais comuns em problemas de tomada de decisão é a incerteza com respeito a escolha do processo de agregação, o qual deverá respeitar o sistema de preferências dos decisores. O processo selecionado deve ter uma estrutura matemática facilmente compreendida pelos vários decisores. Além disso, deve-se garantir que a introdução de uma nova ação, não irá mudar as vantagens e desvantagens comparativas das ações iniciais sob consideração, e se possível, também não irá mudar suas posições relativas no final da ordenação.

O método a ser escolhido em processos de tomada de decisão deve ser:

- fácil de seguir para pessoas não familiarizadas com o complexo raciocínio matemático;
- particularmente adequado para os decisores sob consideração, na estabilidade e robustez do valor global de cada uma das alternativas, de acordo com a variação na importância relativa dos critérios.

Alguns métodos, embora teoricamente adequados, estão sujeitos ao fracasso na aplicação prática por causa da sua falta de simplicidade.

É preciso ainda determinar as importâncias relativas, ou taxas de substituição, ou coeficientes de ponderação das alternativas em relação ao peso global. Isto pode ser obtido pela modelo de agregação aditiva simples dos pontos de vista fundamentais.

3.4.1.2 - Avaliação Global das Propostas

O valor global das propostas, $V(\mathbf{a})$, será calculado pela agregação aditiva simples dos valores parciais de \mathbf{a} , $V_j(\mathbf{a})$ ($j=1, \dots, n$):

$$V(\mathbf{a}) = \sum_{j=1}^n p_j \cdot v_j(\mathbf{a})$$

$$\sum_{j=1}^n p_j = 1$$

$$0 < p_j < 1 \quad (j = 1, \dots, n)$$

onde:

p_j ($j = 1, \dots, n$), são as importâncias relativas, ou taxas de substituição, ou coeficientes de ponderação.

Um problema fundamental subjacente à agregação, é o da explicitação das ponderações dos vários PV's. A análise dos coeficientes de ponderação podem provar ser uma importante ajuda no processo de negociação. Conforme Bana (1995), "Não há sentido falar sobre 'weights', sem referir-se claramente ao tipo de modelo de agregação, isto é, modelo multicritério de agregação, Keeney (1992) chama isto de 'o erro crítico mais comum'".

3.4.3 - Determinação dos Coeficientes de Ponderação

A determinação dos coeficientes de ponderação é um passo importante na obtenção da preferência dos decisores. "Praticamente todas as abordagens de tomada de decisão com multiatributo fazem uso do conceito de importância relativa dos critérios, isto é, os pesos dos critérios ou atributos" (WEBER, 1993).

A determinação do coeficiente de ponderação pode ser feita através do *Tradeoff Procedure* (KEENEY; RAIFFA, 1976), ou pelo *Swing Weighting Procedure* (VON Winderfeldt; EDWARDS, 1986), ou ainda por *Ratio Procedure* (EDWARDS; NEWMANN, 1982). O método utilizado depende das características do problema analisado.

Tradeoff Procedure

A idéia chave do *Tradeoff Procedure*, é que as alternativas sejam comparadas com os níveis de impacto, e sejam definidas com base nos melhores e piores níveis de acordo com cada PV.

O ponto crítico deste procedimento é o ajustamento dos resultados dos atributos afim de produzir indiferença entre as duas alternativas em questão. Isto é feito quer a pior alternativa escolhida num bom resultado ou a melhor das alternativas não escolhida num mal

resultado. Se o valor de função condicional for conhecido o peso dos atributos pode ser derivado. O método *tradeoff* pode ser classificado como um procedimento algébrico, decomposto e indireto.

Swing Procedure

O *Swing Procedure* parte da alternativa com os piores resultados em todos os pontos de vista. Ao decisor é permitido mudar um atributo do pior resultado, para o melhor resultado. Ao decisor é perguntado qual *swing*, do pior para o melhor, resultaria no melhor atributo, no segundo melhor, etc. O atributo com o *swing* preferido é o mais importante, e é determinado como 100 pontos.

As magnitudes de todos os outros *swings* são expressos como percentagem do maior *swing*. As percentagens derivadas são os coeficientes de ponderação naturais, os quais são normalizados para produzir os pesos finais. O método *swing* é um procedimento algébrico, decomposto e direto.

Ratio Procedure

O método *Ratio* requer que o decisor primeiro ordene os atributos relevantes de acordo com sua importância. Ao atributo de menor importância é determinado o coeficiente de ponderação 10, e todos os outros são julgados como múltiplos de 10. Os coeficientes resultantes são normalizados para somar um. O método é um procedimento algébrico, decomposto e direto.

3.5 - Conclusão

O MACBETH é uma metodologia que ajuda na racionalização dos recursos e sistematização de procedimentos, em contextos problemáticos complexos.

O método propõe uma escala numérica, baseada em juízos semânticos sobre a diferença de atratividade sentida pelo decisor, entre pares de elementos de um conjunto. Permite medir o grau de atratividade por meio de medida cardinal.

É um método interativo, e uma das vantagens de procedimentos interativos é o estabelecimento do processo de aprendizagem, que permite gerar consenso entre os indivíduos envolvidos com o processo.

É uma metodologia fácil de ser utilizada, e embora desenvolvida recentemente, já existem muitas aplicações práticas.

O envolvimento das pessoas que serão afetadas, direta ou indiretamente, no processo de escolha do melhor projeto resultará na facilidade de implementação, quebrando a "barreira de resistência" que as pessoas têm frente à mudanças. Os envolvidos farão um esforço maior para provar que a "sua" escolha foi a melhor. Conseqüentemente, o projeto terá sucesso.

Capítulo 4

Aplicação da Metodologia AHP

4 - Introdução

Neste capítulo apresenta-se uma aplicação que ressalta a possibilidade de utilizar o AHP, como um método simples e confiável para lidar com problemas reais.

O ensino brasileiro tem causado uma grande preocupação, tanto na comunidade, quanto nos órgãos governamentais. Uma reportagem da Revista Veja de 28 de junho de 1995, (Neusa Sanches), expressa essa preocupação fazendo uma crítica sobre o ensino nas universidades do Brasil, e mais especificamente, nos cursos de pós-graduação. "Os resultados da pós-graduação e da pesquisa no Brasil são tão inexpressivos que, na prática, é como se o país jogasse todo ano um bilhão de dólares pela janela." (Albuquerque). Entretanto, na mesma página o professor e filósofo, José Arthur Giannotti, manifesta: "Apesar dos problemas, a pós-graduação brasileira ainda é a melhor da América Latina", "A pós deu contribuições decisivas ao desenvolvimento do país nos últimos anos." (SANCHES, 1995)

Em vista disso, este trabalho tem a intenção de fazer um estudo, focalizando o Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Catarina (PPGEP-UFSC), sob o ponto de vista dos alunos, a respeito de quais critérios seriam importantes para Aperfeiçoar a Competitividade do PPGEP-UFSC. Utilizou-se a palavra competitividade, porque ela engloba quatro definições muito importante para o sucesso de qualquer empresa, que são: Produtividade, Qualidade, Flexibilidade e Inovação.

"O curso de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, a nível de Mestrado, iniciou suas atividades em março de 1969, obtendo ... o credenciamento conforme o parecer número 302/79 de março de 1979, ... Seus métodos de análise aplicam-se, portanto, a todos os tipos de atividades industriais, comerciais, e governamentais,... Em 1989, foi implementado o

curso de Doutorado em Engenharia de Produção." (Universidade Federal de Santa Catarina, 1994/95).

"..., em função da qualidade e produtividade acadêmica, o programa tem alcançado nos últimos anos destacada posição a nível nacional e mesmo internacional, obtendo conceito (A) nas avaliações bi-anuais ..." Universidade Federal de Santa Catarina, 1994/95).

A aplicação foi utilizada como uma ilustração, não como uma evidência conclusiva, até porque seria necessário uma maior abrangência, utilizando não apenas os alunos diretamente ligados ao programa, mas também envolvendo o coordenador do curso, professores, administração e comunidade. Entretanto, os alunos fornecem uma amostra significativa dos critérios a serem levados em consideração quando da avaliação.

O modelo proposto não apresenta alternativa, por se tratar de uma aplicação apenas no PPGEP-UFSC.

Para a aplicação, reuniu-se um grupo de alunos, mestrandos e doutorandos, e o primeiro passo foi apresentar o método AHP, dando uma visão global sobre a metodologia e sobre a proposta de avaliar o programa. A seguir, partiu-se para a decomposição e hierarquização do problema em questão. De posse desta informação, os critérios foram ordenados de forma decrescente de importância. Isto facilitou o julgamento da importância relativa dos critérios do segundo nível em relação ao primeiro, e do terceiro em relação ao segundo. O último passo foi aplicar o princípio da decomposição das prioridades.

4.1 - Decomposição e Hierarquização

A cada integrante do grupo foi pedido que desse sugestões quanto aos elementos considerados importantes para se atingir o objetivo principal, "Aperfeiçoar a Competitividade do PPGEF-UFSC". Uma boa gama de informação foi obtida, desta primeira reunião diversos critérios foram listados.

De posse dessas informações fez-se uma reciclagem, isto é, retirou-se informações repetidas, e agrupou-se os elementos comuns. Apresentou-se os resultados ao grupo, para discussão e ajustes nos critérios. Esta discussão serviu também para revelar, clarificar e unificar o ponto de vista do grupo, durante a evolução do processo de estruturação e de avaliação.

Após o debate sobre os critérios, passou-se para a fase de hierarquização do problema. Foram identificados três níveis na hierarquia. O primeiro nível é o objetivo principal do problema proposto: "Aperfeiçoar a Competitividade do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção - UFSC". O segundo nível se relaciona com os objetivos principais dos alunos, que de uma certa maneira se confundem com a missão proposta pelo programa, isto é, "A missão do programa é gerar, buscar, criticar, sistematizar, difundir e transferir conhecimentos científicos, tecnológicos e culturais relacionados com a área de Engenharia de Produção e Sistemas" (Universidade Federal de Santa Catarina, 1994/95). Não é difícil perceber que isso seria óbvio, já que o aluno procura o curso que melhor atenda aos seus objetivos. No terceiro nível estão os critérios mais gerais, que deverão ser analisados.

Primeiro Nível da Hierarquia:

"Aperfeiçoar a Competitividade do PPGEF-UFSC".

Segundo Nível da Hierarquia:

Os objetivos dos alunos para atingir o objetivo principal foram sintetizados em três critérios:

- Qualificação para Pesquisa;
- Contribuição para a Comunidade;
- Formação Competitiva.

Algumas explicações se fazem necessárias, até para limitar esses critérios.

O critério "Qualificação para Pesquisa" está diretamente relacionado ao: - incentivo dado para a pesquisa pura e aplicada; - promover e incentivar a publicação de trabalhos de alunos e professores, com o intuito de desenvolver e criar novos trabalhos.

O critério "Contribuição para a Comunidade", é importante porque atinge diretamente o objetivo principal de Aperfeiçoar a Competitividade. Por um lado, sem a comunidade não seria possível, nem preciso desenvolver a pesquisa. Por outro lado, a comunidade teria que recorrer aos vizinhos para resolver, inclusive, os seus pequenos problemas. Neste critério está incluído: - a prestação de serviço; - consultoria; e - treinamento particularizado à comunidade.

Um terceiro critério considerado foi "Formação Competitiva", que representa a formação dada aos alunos, que é um dos critérios responsáveis para que o curso se torne competitivo. O aluno colocado no mercado deve: - ter habilidade de resolver problemas sejam eles empresariais, docentes ou de pesquisa; - ter segurança profissional; e - desenvolver a criatividade.

O terceiro nível da hierarquia destaca as condições necessárias para se atingir o objetivo principal, conforme como segue:

☐ - Qualidade das Aulas. Neste critério está incluído:

- Qualidade das salas de aula;
- Equipamento de apoio às aulas;
- Participação dos alunos;
- Capacitar os alunos a fazerem pesquisa (qualidade e quantidade de informações).

☐ - Infra-estrutura de Trabalho. Foi considerado como o suporte do curso, dado aos alunos para o desenvolvimento de pesquisas, tais como:

- Biblioteca setorial;
- Laboratórios (qualidade e acesso aos alunos);
- Pessoal de apoio na biblioteca e laboratórios;
- Local de estudo.

☐ - Qualidade dos Docentes

- Pessoal de apoio individual, diminuiria a
- Carga horária burocrática, aumentando o tempo de assessoria aos alunos e à pesquisa;
- Salário compatível - Evita a consultoria fora da área de atuação do docente no curso;
- Titularidade compatível com a área de pesquisa;
- Reciclagem. Avaliação dos docentes de tempos em tempos pelo curso (e/ou universidade), evitaria a estagnação do docente;
- Autonomia - Liberdade de direcionar a pesquisa;
- Experiência prática - Consultoria dada dentro da área afim;
- Repasse de conhecimento - Capacidade do professor de motivar os alunos, - facilidade de comunicação, - a utilização de recursos audio visuais disponíveis, - repasse de material de pesquisa;
- Desenvolvimento de programa de pesquisa. Atualização dos docentes em novas técnicas, isto é, acesso rápido às bibliografias recentes.

☐ - Valorização da Dissertação/Tese

- Aplicabilidade da dissertação/tese. Se o trabalho é aplicado às necessidades da comunidade ou são simplificações que ajudariam o desenvolvimento de novos trabalhos;
- Rigor na aprovação com antecedência à banca. Regras a serem seguidas durante o desenvolvimento do trabalho;
- Valorização do momento da defesa. Formalidade na defesa.

☐ - Remuneração Compatível com Dedicção Exclusiva

- Valor da bolsa em relação ao custo de vida.

☐ - Quantidade de Alunos Entrantes. Este critério se refere:

- Diversidade de formação. Selecionar alunos com formação diretamente ligada ao curso;
- Número de candidatos não correlatos;
- Alunos com formação básica em matemática, uma exigência que deve ser observada, já que se trata de um curso de engenharia

□ - Renome do Curso

- Relação defesa/alunos entrantes.- Quanto maior o número de alunos que defendem, melhor o curso será visto pela comunidade e pelos órgãos responsáveis. Entretanto, a qualidade dos trabalhos e dos alunos é um ponto vital para o curso;
- Conceito nacional/internacional;
- Idade do curso.

Por conseguinte, de posse desses critérios confeccionou-se a hierarquia, que após a aprovação dos decisores, ficou definida conforme a figura abaixo:

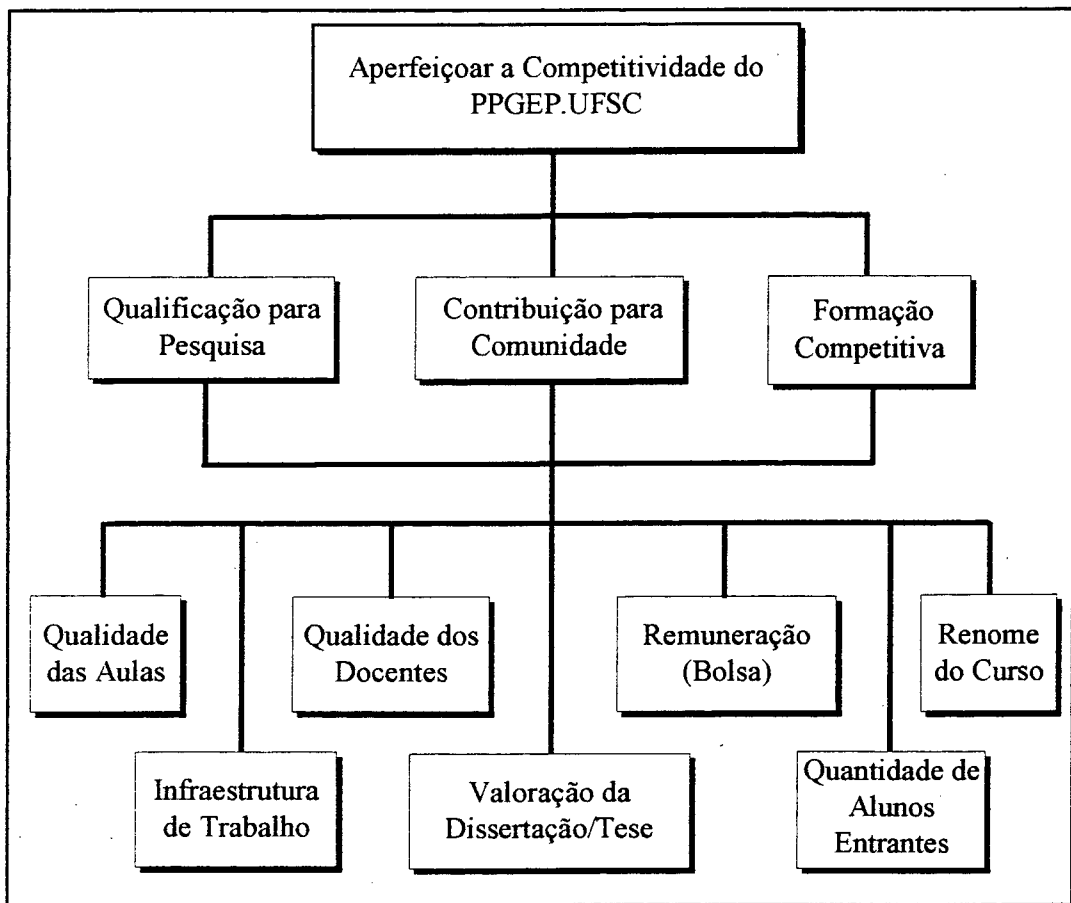


Fig.4.1 - Hierarquização do Problema Proposto

4.2 - Julgamento - Ordenação dos Critérios

O passo seguinte, foi pedir aos alunos que ordenassem em ordem decrescente os critérios do segundo nível de acordo com o objetivo principal. Para facilitar a visualização e conseqüentemente o julgamento, construiu-se uma matriz. Ao grupo foi pedido, que julgasse comparativamente qual critério era mais importante para se atingir o objetivo principal de "Aperfeiçoar a Competitividade do PPGEP-UFSC". Deste modo, obteve-se a ordenação dos critérios.

Aperfeiçoar a Competitividade do PPGEP-UFSC

	QP	CC	FC
QP	●	1	0
CC	0	●	0
FC	1	1	●

Σ
1
0
2

Matriz de ordenação de importância do segundo nível.

Legenda:

QP - Qualificação para Pesquisa

CC - Contribuição para Comunidade

FC - Formação Competitiva

A seguir, ordenou-se os critérios do segundo nível em relação aos critérios do primeiro nível. Procedeu-se da mesma maneira anterior. As matrizes de julgamentos são apresentadas:

Formação Competitiva

	QA	IT	QD	VD	RB	QAE	RC	Σ
QA	●	1	1	0	0	1	1	4
IT	0	●	0	0	0	1	1	2
QD	0	1	●	0	0	1	1	3
VD	1	1	1	●	0	1	1	5
RB	1	1	1	1	●	1	1	6
QAE	0	0	0	0	0	●	0	0
RC	0	0	0	0	0	1	●	1

Qualificação para Pesquisa

	QA	IT	QD	VD	RB	QAE	RC	Σ
QA	●	0	1	1	1	1	1	5
IT	1	●	1	1	1	1	1	6
QD	0	0	●	1	1	1	1	4
VD	0	0	0	●	0	1	1	2
RB	0	0	0	1	●	1	1	3
QAE	0	0	0	0	0	●	1	1
RC	0	0	0	0	0	0	●	0

Contribuição para a Comunidade

	QA	IT	QD	VD	RB	QAE	RC	Σ
QA	●	0	0	0	1	1	1	3
IT	1	●	1	1	1	1	1	6
QD	1	0	●	0	1	1	1	4
VD	1	0	1	●	1	1	1	5
RB	0	0	0	0	●	1	1	2
QAE	0	0	0	0	0	●	1	1
RC	0	0	0	0	0	0	●	0

Legenda:

QA - Qualidade das Aulas

IT - Infra-estrutura

QD - Qualidade dos Docentes

VD - Valorização da Dissertação/Tese

RB - Remuneração / Bolsa

QAE - Quantidade de Alunos Entrantes

RC - Renome do Curso

Após a ordenação, foram valorados os critérios e subcritérios segundo as prioridades dos decisores. Novas matrizes foram construídas. Agora com os critérios e subcritérios ordenados em forma decrescente de preferência, esses julgamentos foram revisados pelos decisores, e confirmada as preferências.

As matrizes construídas, desta forma, facilitaram a valoração do grau de importância dos critérios e subcritérios, diminuindo a inconsistência dos julgamentos dos decisores. Para a obtenção das prioridades dos critérios e subcritérios, foi preciso formalizar as matrizes.

As respectivas matrizes com os julgamentos são apresentados abaixo:

Aperfeiçoar a Competitividade do PPGEF-UFSC

	FC	QP	CC	w
FC	1	4	7	0,6955
QP	1/4	1	4	0,2290
CC	1/7	1/4	1	0,0754

$$CI = 0,0382$$

$$RC = 0,0659$$

$$\lambda_{\text{máx}} = 3,0764$$

Formação Competitiva

	RB	VD/T	QA	QD	IT	RC	QAE	w
RB	1	1	1/2	1/2	1	5	7	0,1509
VD/T	1	1	2	2	2	4	7	0,2399
QA	2	1/2	1	1	2	4	7	0,1968
QD	2	1/2	1	1	1	5	7	0,1840
IT	1	1/2	1/2	1	1	7	8	0,1614
RC	1/5	1/4	1/4	1/5	1/7	1	6	0,0460
QAE	1/7	1/7	1/7	1/7	1/8	1/6	1	0,0209

$$CI = 0,0891$$

$$RC = 0,0675$$

$$\lambda_{\text{máx}} = 7,5348$$

Qualificação para Pesquisa

	RB	VD/T	QA	QD	IT	RC	QAE	w
RB	1	2	1/3	1/3	1/5	3	5	0,0897
VD/T	1/2	1	1/5	1/3	1/7	3	5	0,0652
QA	3	5	1	2	1/4	6	7	0,2162
QD	3	3	1/2	1	1/5	5	7	0,1556
IT	5	7	4	5	1	6	7	0,4133
RC	1/3	1/3	1/6	1/5	1/6	1	2	0,0365
QAE	1/5	1/5	1/7	1/7	1/7	1/2	1	0,0236

$$CI = 0,0975$$

$$RC = 0,0739$$

$$\lambda_{\max} = 7,5851$$

Contribuição para Comunidade

	RB	VD/T	QA	QD	IT	RC	QAE	w
RB	1	1/8	1/3	1/7	1/7	1/2	1	0,0294
VD/T	8	1	5	3	1/2	8	9	0,2943
QA	3	1/5	1	1/6	1/4	5	3	0,0774
QD	7	1/3	6	1	1/2	7	8	0,2089
IT	7	2	4	2	1	9	9	0,3272
RC	2	1/8	1/5	1/7	1/9	1	2	0,0354
QAE	1	1/9	1/3	1/8	1/9	1/2	1	0,0273

$$CI = 0,0807$$

$$RC = 0,0611$$

$$\lambda_{\max} = 7,4839$$

onde:

w é o autovetor

λ_{\max} é o maior autovalor da matriz

IC é o índice de consistência

RC é a razão de consistência

4.3 - Princípio de Composição das Prioridades

No passo seguinte, aplicou-se o princípio de composição das prioridades, afim de estabelecer a prioridade composta ou global dos critérios do segundo nível em relação ao terceiro nível. Multiplicou-se os elementos do vetor linha pelos elementos do vetor coluna do critério correspondente, somando-se os resultados ao longo de cada linha.

Tabela 4.1 - Composição das Prioridades

FC	QP	CC
0,6955	0,2290	0,0754

RB	0,1509	0,0897	0,0294	0,1277
VD/T	0,2399	0,0652	0,2943	0,2040
QA	0,1968	0,2162	0,0774	0,1922
QD	0,1840	0,1556	0,2089	0,1794
IT	0,1614	0,4133	0,3272	0,2316
RC	0,0460	0,0365	0,0354	0,0430
QAE	0,0209	0,0236	0,0273	0,0220

O comportamento de preferência, sob o ponto de vista dos alunos, aplicando a metodologia AHP, determinou que o critério que mais influencia para atingir o objetivo de "Aperfeiçoar a Competitividade do PPGEP-UFSC", é a "Formação Competitiva", e contribui com aproximadamente 70% do objetivo principal, seguido por "Qualificação para Pesquisa", que contribui com aproximadamente 23%, que equivale a 1/3 do critério anterior. Por último a "Contribuição para a Comunidade" participa com apenas 7%, e equivale a 1/3 do critério imediatamente anterior.

No critério "Formação Competitiva", dos subcritérios sugeridos pelos alunos, a "Valorização da Dissertação/Tese é responsável por 23,99% do critério em questão, seguido pela "Qualidade das Aulas" e "Qualidade dos Docentes", que não apresentam diferenças significativas, 19,68 e 18,40. A preferência entre "Infra-estrutura de Trabalho" e a "Remuneração (Bolsa)", também estão muito próximas e contribuem respectivamente com 16,4% e 15,1%. A contribuição dos subcritérios "Renome do Curso" e "Quantidade de Alunos Entrantes", são insignificantes em relação aos outros critérios, 4,6% e 2,19%.

No critério "Qualificação para Pesquisa", o subcritério "Infra-estrutura de trabalho" corresponde com 41,33% do critério em questão, a "Qualidade das Aulas" com 21,62%, a "Qualidade dos Docentes" com 15,56, a "Remuneração (Bolsa)", "Valorização da dissertação/Tese", "Renome do Curso" e "Quantidade de Alunos Entrantes" são respectivamente 8,97%; 6,52%; 3,65% e 2,36%.

No critério "Contribuição para Comunidade" o subcritério "Infra-estrutura de Trabalho" é responsável por 32,72%, seguido pela "Valorização da Dissertação/Tese" que contribui com 29,43%, a seguir a "Qualidade dos Docentes" que corresponde a 20,89% e a "Qualidade das Aulas" com 7,74%, o "Renome do Curso" e "Remuneração (bolsa)" e "Quantidade de Alunos Entrantes", contribui muito pouco para o critério em questão, e contribui respectivamente com 3,54%; 2,94% e 2,73%.

Na composição global, os subcritérios que devem ser alvo de análise são "Infra-estrutura de Trabalho" com 23,16%, seguido por "Valorização da Dissertação/Tese" com 20,40%, "Qualidade das Aulas" com 19,22%, "Qualidade dos Docentes", 17,94%, "Remuneração (bolsa)", 12,77%, "Renome do Curso", 4,30% e "Quantidade de Alunos Entrantes" que contribui com 2,20%.

A seguir é feita a "Análise de sensibilidade" dos subcritérios, para determinar a suscetibilidade dos resultados obtidos.

4.4 - Análise de Sensibilidade

Um passo importante em qualquer estudo é a verificação da validade dos resultados. A questão, freqüentemente levantada, reside em quão sensível são as prioridades em relação às pequenas variações dos valores dos julgamentos. Deseja-se que as prioridades não flutuem largamente por causa de pequenas modificações no julgamento. A análise de sensibilidade verifica se as recomendações finais são sensíveis a certos julgamentos.

Para a análise, utilizou-se como instrumento o software "Hiview para Windows". Abaixo são apresentados os gráficos, os quais permitem visualizar o quanto cada critério é afetado pelos pesos selecionados.

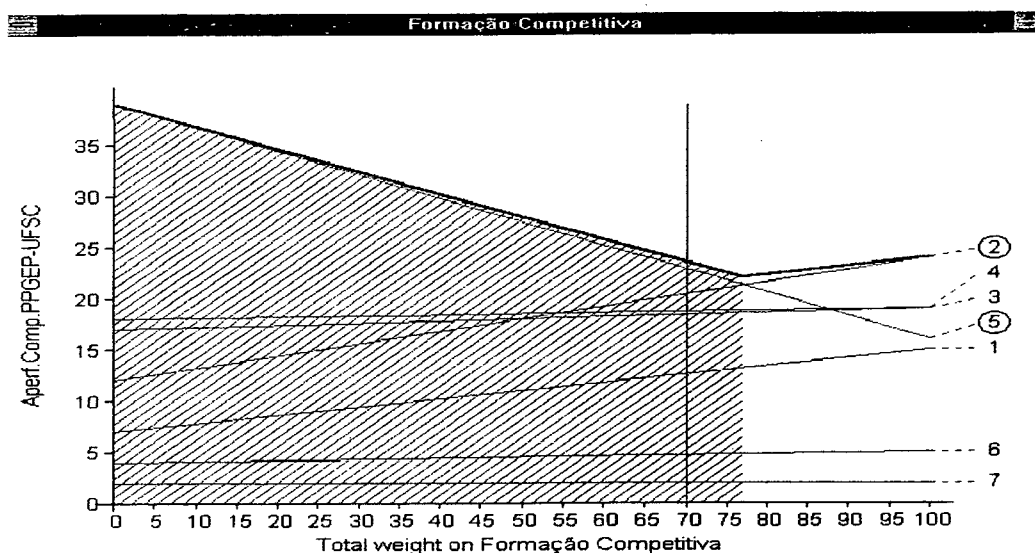


Gráfico 4.1 - Aperfeiçoar a Competitividade x Formação Competitiva

Legenda:

- ① → Infra-estrutura de Trabalho
- ② → Valorização da Dissertação/Tese
- ③ → Qualidade das Aulas
- ④ → Qualidade dos Docentes
- ⑤ → Remuneração (Bolsa)
- ⑥ → Renome do Curso
- ⑦ → Quantidade de Alunos Entrantes

No gráfico 4.1, observa-se que no critério "Formação Competitividade" o subcritério "Infra-estrutura de Trabalho" domina todos os outros subcritérios. A "Infra-estrutura de Trabalho" só será dominada por "Valorização da Dissertação/Tese" quando o peso de "Formação Competitiva" for superior a 77%.

O subcritério "Quantidade de Alunos Entrantes" é sempre dominado. O "Renome do Curso" só domina "Quantidade de Alunos Entrantes" e "Remuneração (Bolsa)" só domina os subcritérios anteriores.

O subcritério "Qualidade dos Docentes" domina fracamente "Qualidade das Aulas". Entretanto, as posições se invertirão quando o peso do critério "Formação Competitiva" for maior que 90%.

O subcritério "Valorização da Dissertação/Tese" é dominado por "Qualidade dos Docentes" e "Qualidade das Aulas", quando o peso do critério "Formação Competitiva" estiver no intervalo [50%,55%].

Pode-se dizer que a ordenação dos subcritérios com referência ao critério "Formação Competitiva" é praticamente insensível à mudanças nos julgamentos.

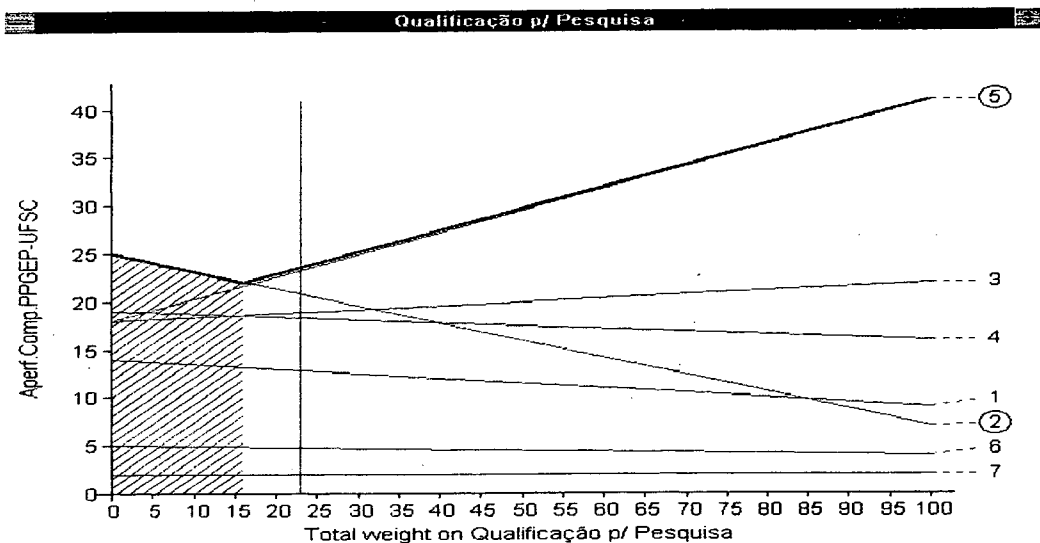


Gráfico 4. 2 - Aperfeiçoar a Competitividade x Qualificação para Pesquisa

No gráfico 4.2, o peso do critério "Qualificação para Pesquisa" pode variar de aproximadamente de 16% até 34%, neste intervalo não ocorrem inversões.

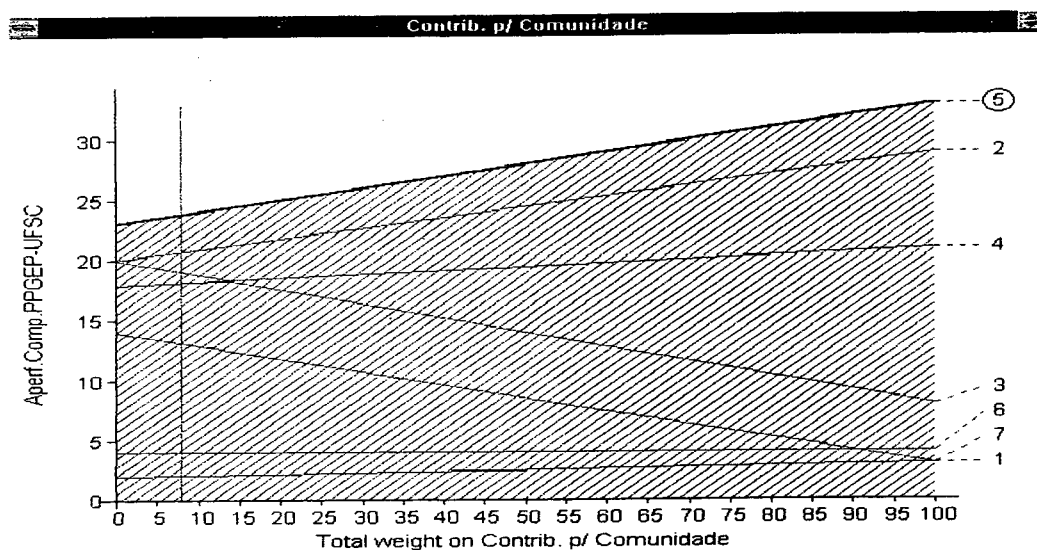


Gráfico 4. 3 - Aperfeiçoar a Competitividade x Contribuição para Comunidade

No gráfico 4.3, observa-se que o subcritério "Infra-estrutura de Trabalho" em qualquer situação é dominado. O subcritério "Valorização da Dissertação/Tese" só é dominado pelo subcritério "Infra-estrutura de Trabalho". O peso total do critério "Contribuição para a Comunidade" precisará ser aumentado acima de 17%, para que o subcritério "Qualidade dos Docentes" domine "Qualidade das Aulas". "Remuneração (Bolsa)" domina "Renome do Curso", que domina "Quantidade de Alunos Entrantes".

4.5 - Conclusão

A conclusão tirada do estudo é que na concepção dos alunos, a "Formação Competitiva" é um ponto primordial para se alcançar o "Aperfeiçoamento Competitivo do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Catarina", e dentro deste critérios a "Valorização da Dissertação/Tese" contribui significativamente. Entretanto, na avaliação global das prioridades o critério que mais se destacou foi a "Infra-estrutura de Trabalho", seguido da "Valorização da Dissertação/Tese", "Qualidade das Aulas", "Qualidade dos Docentes", "Valor da Bolsa", "Renome do Curso" e "Quantidade de Alunos Entrantes". Em relação aos objetivos dos alunos o critério "Qualificação para Pesquisa" ficou em segundo lugar, seguido por "Contribuição para a Comunidade", que ficou com uma pontuação quase inexpressiva em relação aos outros dois critérios.

Entretanto, não se quer dizer com isso, que a "Contribuição para a Comunidade" não seja um ponto importante a ser levado em consideração, pelo contrário, o aperfeiçoamento do programa, através da "Formação Competitiva" e da "Qualificação para Pesquisa", refletirá positivamente na Contribuição dada à Comunidade.

A análise de sensibilidade revelou que pequenas mudanças nos julgamentos não variam a ordem de prioridade dos critérios. A análise não revelou qualquer condição particular, que requeiram recomendações adicionais.

Capítulo 5

Aplicação da Metodologia MACBETH

5 - Introdução

Neste capítulo apresenta-se uma aplicação do método MACBETH. Para a aplicação utilizou-se o problema equivalente ao analisado no capítulo 4, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. O problema a ser resolvido é: quais os pontos de vista são relevantes para "Aperfeiçoar a Competitividade do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção - Universidade Federal de Santa Catarina", sob a visão dos alunos do curso ?, e qual a relação de importância entre os PVF's para efeito de valoração do desempenho do programa ?

Para o estudo, reuniu-se um grupo de alunos e deu-se uma explicação sobre o método. A seguir, os alunos determinaram os pontos de vista e os descritores, considerados como relevantes para a resolução do problema. Entretanto, não é de interesse deste estudo determinar os diferentes níveis de impacto, apenas o melhor e o pior nível de cada ponto de vista uma vez que não serão avaliadas alternativas. A seguir foram ordenados os pontos de vista fundamentais e determinados os seus respectivos pesos globais.

5.1 - Decomposição do Problema

Para a resolução do problema, reuniu-se um grupo de alunos, mestrados e doutorandos, e a cada aluno foi pedido que listassem elementos considerados importantes para se atingir o objetivo principal de "Aperfeiçoar a Competitividade do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Catarina".

Os pontos de vista (PV's), foram a seguir representados por seus níveis mínimos e máximos através de seus descritores

PV₁

Remuneração (Bolsa).

Neste ponto de vista, será analisado se a bolsa cobre os custos básicos :

Descritor

Custo de Material.

Níveis

melhor nível: cobre a compra de livros/periódicos.

pior nível: só permite estudar com livros emprestados.

Descritor

Custo de Moradia.

Níveis

melhor nível: morar perto, não precisa dividir aluguel

pior nível: morar longe e ter que dividir aluguel

Descritor

Custo de alimentação.

Níveis

melhor nível: almoçar em restaurante (de refeição rápida)

pior nível: almoçar no restaurante universitário (RU)

Descritor

Custo de Transporte.

Níveis

melhor nível: transporte próprio

pior nível: ônibus.

O ponto de vista Qualificação para Pesquisa foi subdividido em quatro pontos de vista, que são:

PV₂

Infra-estrutura.

Descritores

Biblioteca, computadores, laboratório e local de estudo

Níveis

melhor nível: ter boa biblioteca para pesquisa, ter bons computadores, ter laboratório e ter local de estudo.

pior nível: ter no mínimo uma biblioteca aceitável para pesquisa, ter computadores aceitáveis, não ter laboratório e não ter local de estudo.

PV₃

Qualidade dos Docentes.

Descritores

Número de projetos, número de alunos envolvidos nos projetos, publicações nacionais e internacionais.

Níveis

melhor nível: ter dez projetos com trinta alunos envolvidos, ter oito publicações nacionais e ter quatro internacionais.

pior nível: não ter projetos e não ter publicações.

PV₄

Valorização da Dissertação/Tese.

Descritores

Contribuição Científica.

Níveis

melhor nível: a dissertação/tese é uma contribuição científica

pior nível: satisfaz as mínimas condições de uma dissertação/tese

PV₅

Número de Alunos por Orientador.

Descritor

Número de orientandos

Níveis

melhor nível: ter de 5 à 7 orientandos.

pior nível: não ter nenhum orientando ou ter mais de vinte orientandos.

O ponto de vista Formação Competitiva (Qualificação para ensino), deverá ser analisado pelos pontos de vista:

PV₁₃

Infra-estrutura.

Descritores

Salas de aula (iluminação, ventilação, conforto), biblioteca e laboratórios de fácil acesso aos alunos.

Níveis

melhor nível: salas de aula bem iluminadas com boa ventilação e com conforto; boa biblioteca e laboratórios com fácil acesso aos alunos.

pior nível: salas de aula com iluminação ruim, com ventilação ruim e sem conforto; biblioteca aceitável e laboratórios com difícil acesso aos alunos.

A Qualidade das Aulas foi decomposta em:

PV₆

Qualidade dos Docentes.

Descritores

Clareza de exposição, capacidade de motivação e habilidade na utilização dos recursos audio - visuais/didática.

Níveis

melhor nível: clareza de exposição, capacidade de motivação e habilidade na utilização de recursos audio-visuais/didática.

pior nível: falta de clareza de exposição, falta de capacidade de motivação e falta de habilidade na utilização de recursos audio-visuais/didática.

PV7

Quantidade de Alunos.

Descritores

Número de alunos em sala de aula.

Níveis

melhor nível: cinquenta alunos em sala de aula.

pior nível: cinco alunos em sala de aula.

PV8

Incentivo à Pesquisa.

Descritores:

Incentivo dado aos alunos a lerem e escreverem artigos

Níveis

melhor nível: incentivar aos alunos a lerem e a escreverem artigos.

pior nível: não incentivar a ler e a escrever artigos.

PV9

Homogeneidade de Formação.

Descritores

Formação dos alunos.

Nível de Impacto

melhor nível: a formação dos alunos é em cursos correlatos (Engenharia, Arquitetura, Administração, etc.)

pior nível: alunos sem formação em cursos correlatos (medicina, psicologia, enfermagem, etc.)

A Contribuição para a Comunidade foi decomposta em:

PV10

Consultoria/Prestação de Serviço.

Descritores

Número de consultorias por ano e número de dissertações/teses que solucionam diretamente problemas reais.

Níveis

melhor nível: três consultorias por ano e noventa por cento das dissertações solucionam problemas reais.

pior nível: nenhuma consultoria durante o ano e apenas vinte por cento das dissertações/teses solucionam problemas reais.

PV11

Treinamentos e Cursos para a Comunidade.

Descritores

Número de cursos e/ou treinamentos direcionados para a comunidade.

Níveis

melhor nível: cinco cursos/treinamentos direcionados para a comunidade.

pior nível: nenhum curso/treinamento direcionado para a comunidade.

PV12

Renome do Curso.

Descritores

Número de defesas versus número de alunos entrantes, e número de candidatos versus número de vagas

Níveis

melhor nível: noventa por cento dos alunos que entram defendem a dissertação/tese e o número de candidatos é duas vezes (ou mais) o número de vagas disponíveis.

pior nível: o número mínimo de alunos que defendem a dissertação/tese é trinta por cento e o número de candidatos não preenche as vagas.

5.2 - Hierarquização dos Pontos de Vista

No caso em estudo o grupo definiu um conjunto de treze pontos de vista fundamentais. A estrutura final é mostrada na figura 5.1.

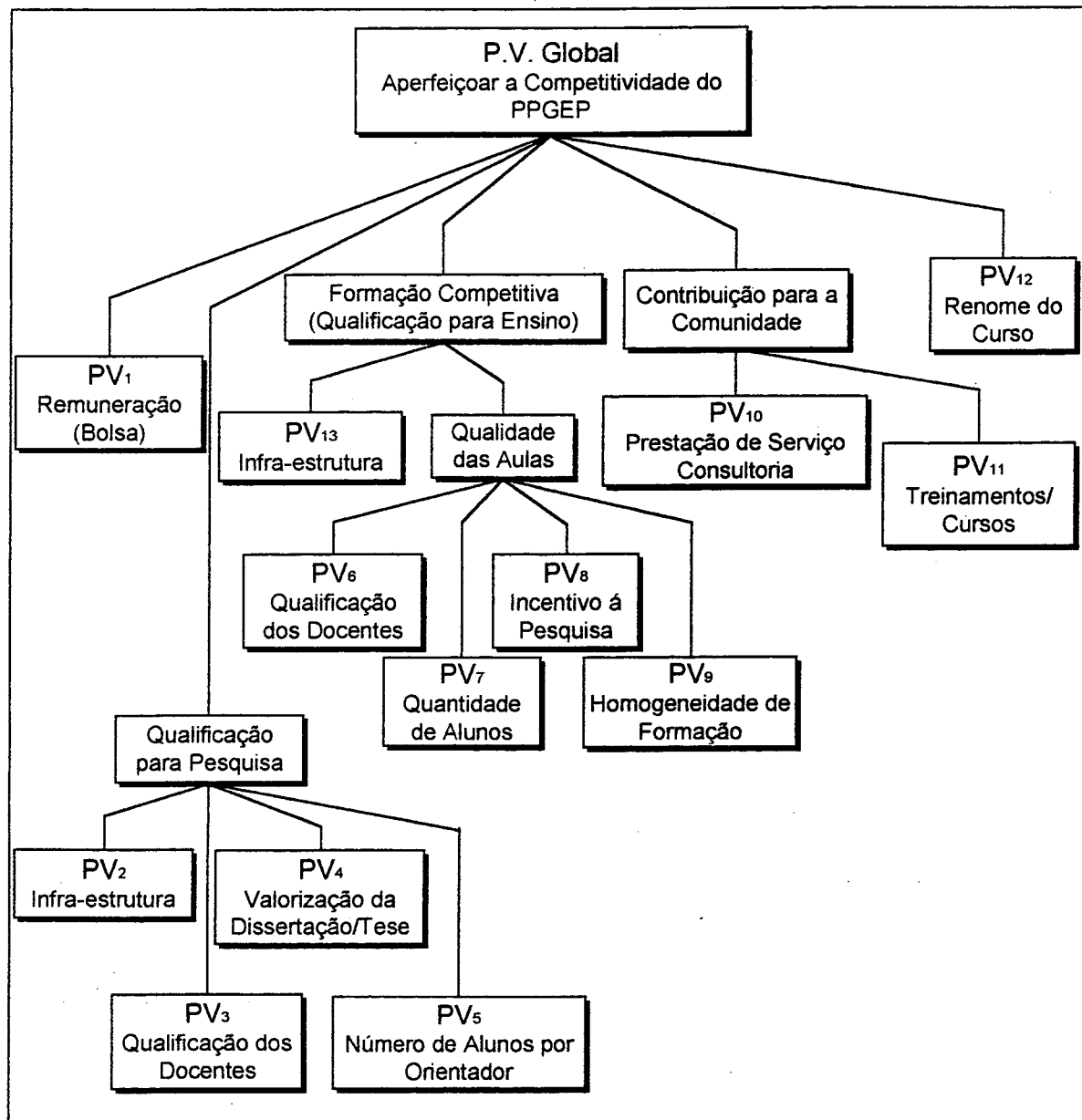


Fig. 5.1 - Estrutura dos Pontos de Vista

O passo seguinte é ordenar os níveis de impacto. Contudo, não é do interesse deste trabalho avaliar alternativas, isto é, diferentes cursos de pós-graduação, e sim determinar pontos de vistas, sendo assim, não se executou este passo.

5.3 - Determinação dos Coeficientes de Ponderação

Para obter-se a ordenação dos pontos de vista, utilizou-se o modo de questionamento da abordagem para determinar, qualitativamente, a diferença de atratividade que o grupo julgava existir, entre passar do pior nível para o melhor nível segundo outro ponto de vista, isto é feito para todos os pontos de vista.

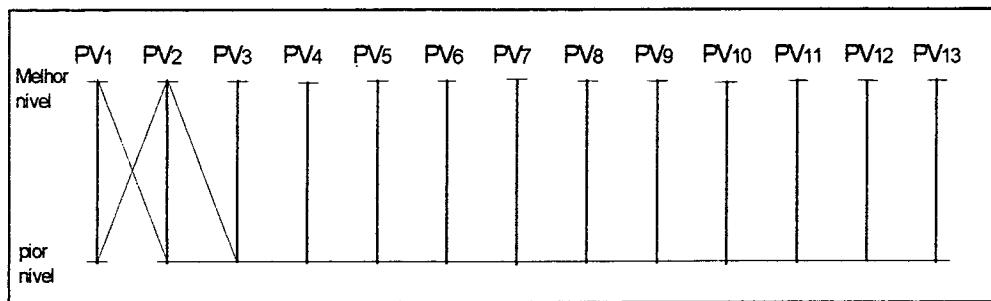


Fig. 5.2 - Comparação dos Pontos de Vista

Para facilitar, em paralelo, os resultados destas comparações são colocados numa matriz conforme tabela. 5.1.

Tabela. 5.1 - Matriz de Ordenação dos PV's

	PV ₁	PV ₂	PV ₃	PV ₄	PV ₅	PV ₆	PV ₇	PV ₈	PV ₉	PV ₁₀	PV ₁₁	PV ₁₂	PV ₁₃	Σ
PV ₁	•	0	1	0	1	1	1	0	1	0	0	0	0	5
PV ₂	1	•	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	7
PV ₃	0	0	•	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	3
PV ₄	1	0	0	•	1	0	1	0	1	0	0	0	0	4
PV ₅	0	0	0	0	•	0	1	0	1	0	0	0	0	2
PV ₆	0	1	1	1	1	•	1	1	1	1	0	1	0	9
PV ₇	0	0	0	0	0	0	•	1	1	0	0	1	0	3
PV ₈	1	1	1	1	1	0	0	•	1	0	0	1	0	7
PV ₉	0	0	1	0	0	0	0	0	•	0	0	0	0	1
PV ₁₀	1	1	1	1	1	0	1	1	1	•	1	1	1	11
PV ₁₁	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	•	1	1	11
PV ₁₂	1	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	•	0	6
PV ₁₃	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	•	10

Deste modo, os pontos de vista são ordenados. Após a ordenação, é necessário julgar quanto, em termos qualitativos: diferença de atratividade fraca ou forte ou extrema, ou qualquer situação intermediária, o PV_i é mais preferível que o PV_j, $\forall i \neq j$.

A nova matriz é construída com os pontos de vista em ordem decrescente de atratividade, como indicado na tabela 5.2.

Tabela 5.2 - Matriz de Julgamento dos PV's.

	PV ₁₀	PV ₁₁	PV ₁₃	PV ₆	PV ₂	PV ₈	PV ₁₂	PV ₁	PV ₄	PV ₇	PV ₃	PV ₅	PV ₉	PV ₀
PV ₁₀	•	1	2	4	4	4	4	4	4	5	5	5	6	6
PV ₁₁	•	•	2	4	4	4	4	4	4	5	5	5	6	6
PV ₁₃	•	•	•	3	3	3	4	4	4	5	5	5	6	6
PV ₆	•	•	•	•	1	1	2	3	3	4	4	4	6	6
PV ₂	•	•	•	•	•	1	2	2	3	4	4	4	6	6
PV ₈	•	•	•	•	•	•	2	2	3	4	4	4	6	6
PV ₁₂	•	•	•	•	•	•	•	2	2	3	3	3	5	6
PV ₁	•	•	•	•	•	•	•	•	2	3	3	3	5	6
PV ₄	•	•	•	•	•	•	•	•	•	2	2	3	5	6
PV ₇	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	1	2	5	6
PV ₃	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	2	5	6
PV ₅	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	4	5
PV ₉	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	3
PV ₀	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•

Legenda:

- PV₁ = Remuneração (Bolsa)
- PV₂ = Infra-estrutura (Pesquisa)
- PV₃ = Qualificação dos Docentes (Pesquisa)
- PV₄ = Valorização da Dissertação/Tese
- PV₅ = Número de Alunos por Orientador
- PV₆ = Qualificação dos Docentes (Ensino)
- PV₇ = Quantidade de Alunos
- PV₈ = Incentivo à Pesquisa
- PV₉ = Homogeneidade de Formação
- PV₁₀ = Prestação de Serviço/Consultoria
- PV₁₁ = Treinamentos/Cursos
- PV₁₂ = Renome do Curso
- PV₁₃ = Infra-estrutura (Ensino)
- PV₀ = Ponto de Ancoragem.

Da análise interativa resultou a matriz final de juízos de diferença de atratividade, como mostra a tabela 5.2.

Finalmente, de posse da matriz de julgamentos, utilizou-se o programa MACBETH, implementado informaticamente em GAMS-MINOS, obteve-se a escala de valores parciais, que corresponde ao indicado na tabela 5.3. O programa verifica também a consistência e coerência dos julgamentos. A listagem dos resultados encontra-se no anexo 4.

Tabela 5.3 - Escala MACBETH

	Valor Absoluto	Escala de 0 à 100%	Escala Normalizada
PV ₁₀	92	100	10,86
PV ₁₁	91	98,91	10,74
PV ₁₃	88	95,65	10,39
PV ₆	73	79,35	8,62
PV ₂	72	78,26	8,50
PV ₈	71	77,17	8,38
PV ₁₂	66	71,74	7,79
PV ₁	63	68,48	7,44
PV ₄	60	65,22	7,08
PV ₇	53	57,61	6,26
PV ₃	52	56,52	6,14
PV ₅	49	53,26	5,79
PV ₉	17	18,48	2,01
PV ₀	0	0,00	0,00

Os fatores de escala, ou taxas de substituição, foram determinados com base na comparação. Construídos a partir do pior nível e melhor nível de cada ponto de vista, as condições teóricas de consistência do modelo aditivo exige que a todos os piores níveis, seja atribuído o mesmo valor parcial. Da escala resulta diretamente os valores respectivos das taxas de substituição atribuídas aos pontos de vista. A escala normalizada é obtida da formula:

$$P_j = \frac{\mu_j}{\sum_{j=1}^{13} \mu_j}$$

onde:

μ é o valor da escala atribuído ao ponto de vista.

Os resultados desta normalização, significa o quanto o decisor está disposto a trocar 1 unidade do ponto de vista Prestação de Serviço/Consultoria por duas unidades do ponto de vista Quantidade de Alunos.

A aplicação da metodologia MACBETH resultou que o ponto de vista que mais influencia, na visão dos alunos, para atingir o objetivo principal de "Aperfeiçoar a Competitividade do PPGE", é o ponto de vista Consultoria e Prestação de Serviço para a Comunidade e contribui com 10,86% do valor global, seguido muito de perto pelo ponto de vista Treinamento/Cursos para a Comunidade, que contribui com 10,74%. A Infra-estrutura em Formação Competitiva contribui com 10,39%, Qualidade dos Docentes em Formação Competitiva, Infra-estrutura em Qualificação para Pesquisa, Incentivo à Pesquisa, Renome do Curso, Remuneração(Bolsa), Valorização da Dissertação/Tese, Quantidade de Alunos, Qualidade dos Docentes em Qualificação para Pesquisa, Número de Alunos por Orientador, Homogeneidade de Formação, contribuem respectivamente com: 8,62%; 8,50%; 8,38%; 7,79%; 7,44%; 7,08%; 6,26%; 6,14%; 5,79%; 2,01%.

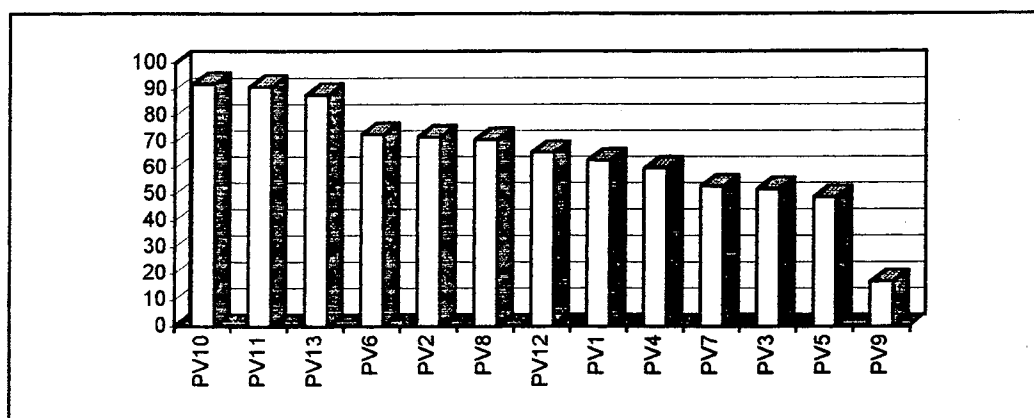


Gráfico 5.1 - Coeficiente de Ponderação Local de cada PVF, segundo os Juízos dos Decisores.

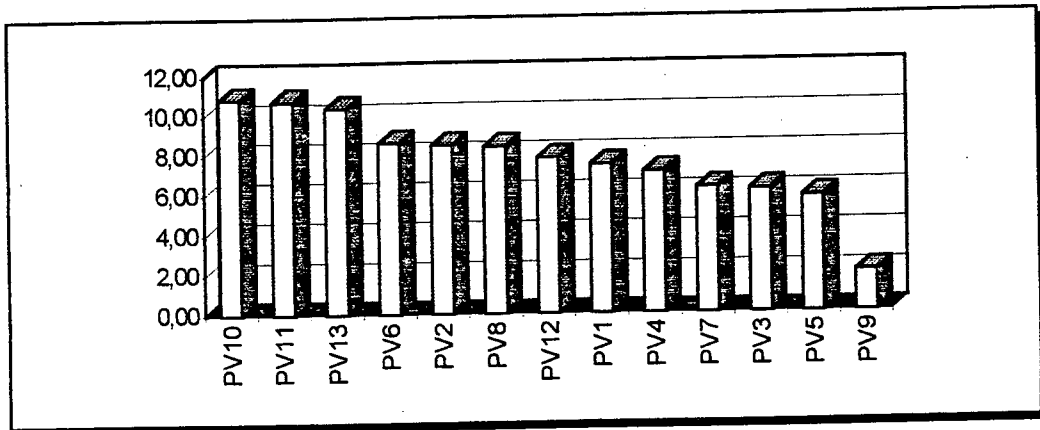


Gráfico 5.2 - Coeficiente de Ponderação Global dos PVF's.

5.4 - Análise de Sensibilidade

Para análise de sensibilidade da posição relativa dos pontos de vista na ordenação global, recorreu-se ao software HIVIEW para Windows. Abaixo são mostrados os gráficos de sensibilidade para as taxas de substituição dos Pontos de Vista.

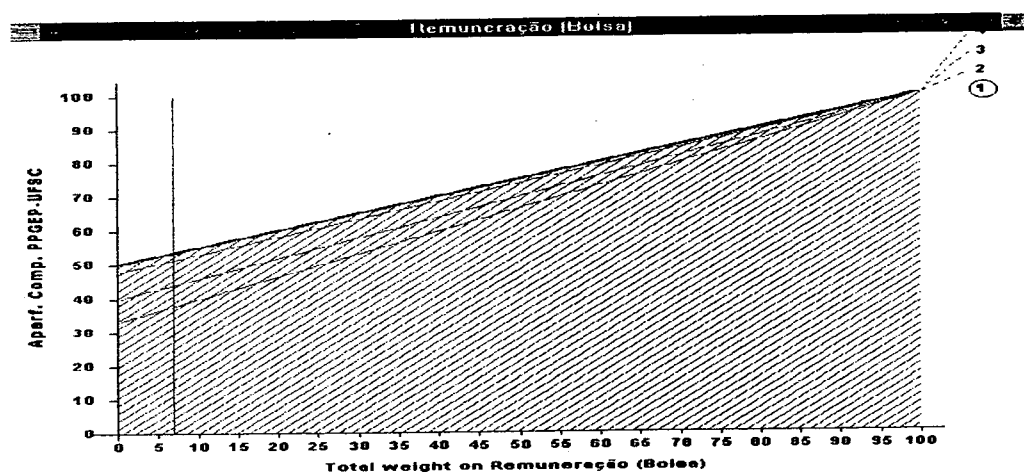


Gráfico. 5.3 - Aperfeiçoar a Competitividade x Remuneração (Bolsa).

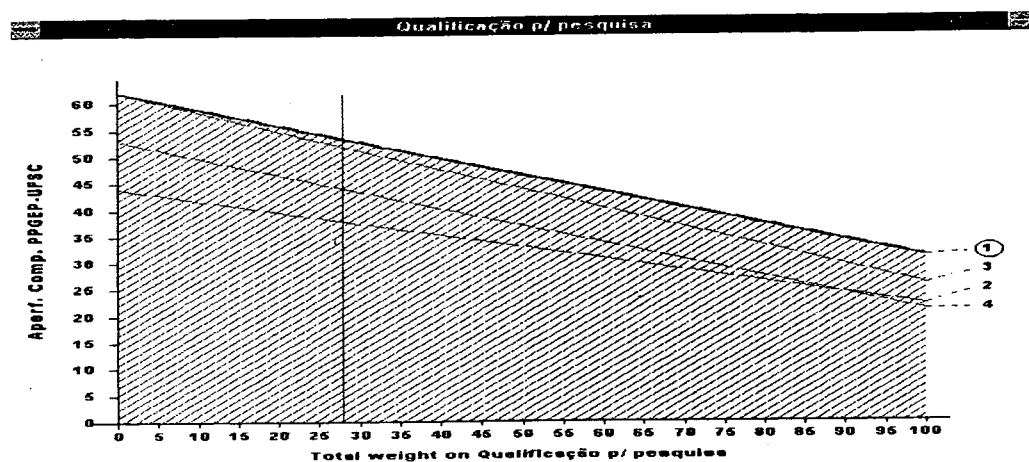


Gráfico. 5.4 - Aperfeiçoar a Competitividade x Qualificação para Pesquisa

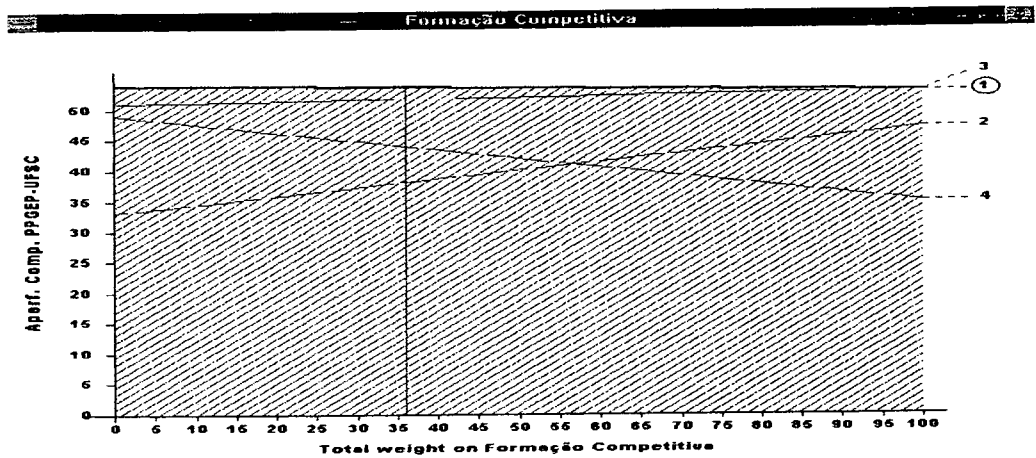


Gráfico. 5.5 - Aperfeiçoar a Competitividade x Formação Competitiva

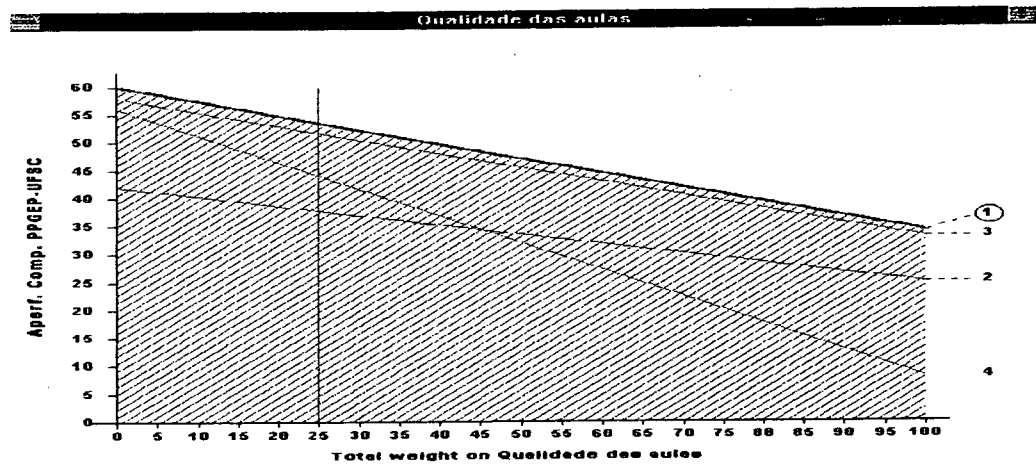


Gráfico. 5.6 - Aperfeiçoar a Competitividade x Qualidade das aulas

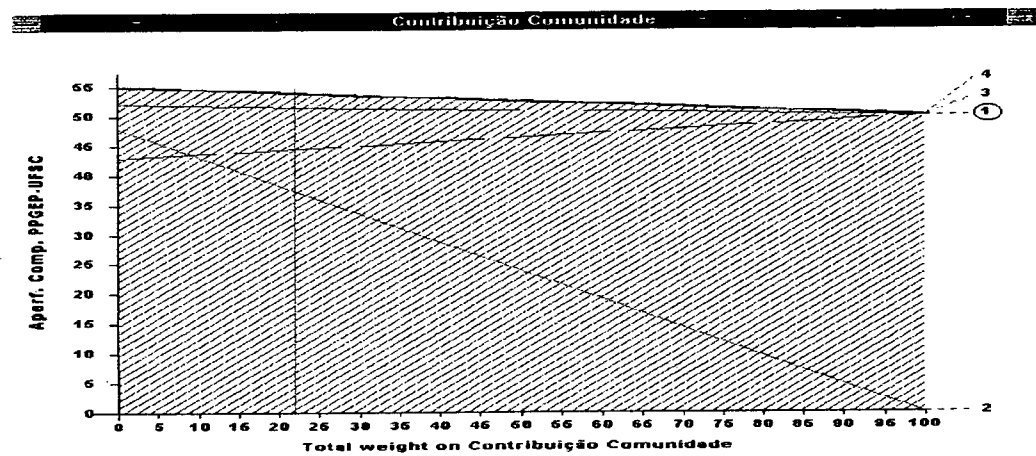


Gráfico. 5.7 - Aperfeiçoar a Competitividade x Contribuição para Comunidade

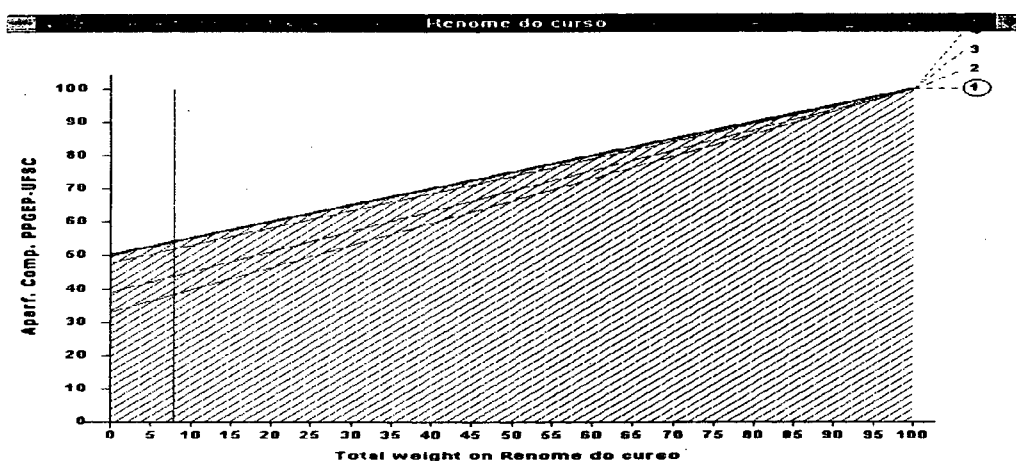


Gráfico 5.8 - Aperfeiçoar a Competitividade x Renome do Curso

Analisando os gráficos, conclui-se que para pequenas variações nas taxas de substituição de cada ponto de vista não ocorrem mudanças, isto é, não ocorrem inversão na ordenação dos pontos de vista.

5.5 - Conclusão

De acordo com os julgamentos do grupo, os pontos de vista Prestação de Serviço/ Consultoria para a Comunidade, Treinamento/Cursos para a Comunidade e Infra-estrutura em Formação Competitiva (Qualificação para o Ensino) apresentam uma diferença de atratividade muito fraca entre eles, e mostram uma importância relevante para que seja atingido o objetivo principal de Aperfeiçoar a Competitividade do Programa de Pós-Graduação. O PV₆, Qualificação dos Docentes (Ensino), PV₂, PV₈, PV₁₂, PV₁, PV₄, PV₇, PV₃, PV₅, que correspondem respectivamente à Infra-estrutura (Pesquisa), Incentivo à Pesquisa, Renome do Curso, Remuneração (Bolsa), Valorização da Dissertação/Tese, Quantidade de Alunos, Qualificação dos Docentes (Pesquisa), e Número de Alunos por Orientador, também são pontos que devem ser levados em consideração. Entretanto, deve ser claro que a aplicação não é conclusiva. Os decisores, os pontos de vista e os descritores não foram esgotados.

A análise de sensibilidade não apresentou nenhuma condição especial que solicite recomendações adicionais.

Concluiu-se que, a metodologia MACBETH é uma metodologia fácil de ser aplicada, e fornece base para o apoio a decisão de problemas complexos que necessitem de uma decisão, consensual ou que requeira um processo de aperfeiçoamento dos conhecimentos dos decisores a respeito de um problema.

Capítulo 6

Conclusões e Recomendações

Esta nova área de conhecimento, de apoio à decisão tem beneficiado não só os tomadores de decisão, através do fornecimento de maiores e melhores subsídios para o processo de decisão, mas também à própria teoria econômica, através da operacionalização de seus princípios, tornando-a mais útil e respeitada no contexto prático. O processo de decisão é caracterizado pela novidade, complexidade e dinamismo, isto é, ele pode ser alterado a qualquer momento. Normalmente, começa com pouco conhecimento da situação de decisão que enfrenta e dos caminhos para a solução. As dificuldades de avaliar um problema decorrem principalmente das características que o envolve. Múltiplos objetivos, múltiplos decisores, fatores qualitativos e quantitativos requerem uma decisão única. Neste aspecto, os processos de apoio multicriterial são extremamente úteis, no sentido de fazer com que exista unificação de reconhecimento do problema, segundo uma visão global. A área de tomada de decisão multicriterial tem se expandido rapidamente nos últimos anos. Diversas técnicas, para a resolução de problemas complexos, têm sido estudadas. Este trabalho restringiu-se ao estudo da metodologia AHP (Analytic Hierarchy Process) e MACBETH (Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique).

Tanto o AHP, como o MACBETH, se baseiam em dois princípios básicos: estruturação e avaliação. Estas metodologias ajudam o decisor a analisar e a sintetizar as informações. Facilitam a comunicação e o entendimento entre os decisores. A forma de questionamento feito aos decisores envolve apenas duas ações e utilizam a noção de julgamento absoluto. Por incorporarem a subjetividade, complexidade do julgamento humano, a cada passo, é necessário verificar a validade dos resultados.

O AHP difere das análises de decisão com múltiplos critérios nas avaliações, que são prescritas como comparações par-a-par de cada nível da hierarquia. As comparações são restritas a uma escala específica. A metodologia permite que o problema de determinação das taxas de substituição de cada nível da hierarquia, seja estruturada através da construção de uma matriz, a qual permite o cálculo do vetor prioridade, para que as alternativas sejam

rotineiramente avaliadas. Algumas vezes, o método é considerado um modelo da Teoria da Utilidade. Entretanto, o AHP, não define nenhum tipo de função utilidade marginal, utilizando sim comparações diretas dos elementos entre si.

O MACBETH é um método útil na fase de avaliação do processo de apoio à tomada de decisão. É um método iterativo, que auxilia a construção de uma escala cardinal, que representa o julgamento dos decisores sobre o grau de atratividade entre os elementos.

Observou-se algumas diferenças fundamentais entre as duas abordagens:

AHP - Analytic Hierarchy Process

A matriz de pares de comparações é construída de acordo com a escala semântica, entretanto, as respostas são tratadas como julgamentos numa escala de relação. Isto é, o AHP associa a preferência uma escala fixa. A escala não contém o ponto zero, supondo por princípio que não existe uma situação pior que o ponto zero.

MACBETH (Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique)

A matriz de pares de comparações é construída de acordo com a escala semântica, e as preferências são determinadas de forma semântica e após através de um modelo de programação linear são transformadas numa escala de valores numéricos representando da melhor forma possível as preferências dos decisores. Utiliza-se o artifício de um PVF de preferências mínimas para ancoragem da escala.

AHP

Quanto ao julgamento, o AHP se refere às relações de prioridade ou importância. A quantificação dos julgamentos mede o grau de importância entre os elementos.

MACBETH

Quanto ao julgamento, se refere às diferenças de atratividade. A quantificação dos julgamentos mede o grau de atratividade entre os elementos

AHP

No AHP, a elucidação dos pesos é idêntica a elucidação dos escores.

MACBETH

No MACBETH, o método adotado para a elucidação dos escores é diferente do utilizado para elucidar as taxas de substituição.

AHP

O AHP verifica a consistência dos julgamentos.

MACBETH

O MACBETH verifica a consistência da escala, e detecta as fontes de inconsistência, quando existir.

Uma das limitações apresentadas pelo AHP é o número de comparações que devem ser feitas para a elucidação das preferências. O MACBETH apresenta a mesma limitação em maior grau, pois quanto maior o número de critérios a serem avaliados, maior o número de comparações se fazem necessárias.

Uma característica importante dos dois métodos é o caráter reducionista em relação à realidade.

A aplicação dos métodos ajudou a comprovar a facilidade de uso, e a verificar a viabilidade de solucionar problemas complexos. Observou-se que o AHP analisa os critérios de uma forma mais ampla, enquanto que o MACBETH analisa de uma forma mais fragmentada. A qualidade e a aplicabilidade das metodologias são dependentes da hierarquia que está sendo utilizada.

A aplicação dos métodos estimulou a participação do grupo, englobando os interesses conflitantes, forçando a análise dos aspectos mais relevantes para todos os participantes, conduzindo assim a um consenso.

É importante ressaltar que a aplicação dos métodos realizados neste trabalho não são conclusivos, os decisores e os critérios não foram esgotados. Entretanto, pode ser

facilmente ampliado, considerando múltiplos decisores e estendendo para a avaliação propriamente dita de cursos de pós-graduação.

O AHP tem sido muito usado na resolução de problemas práticos, com grande sucesso. O MACBETH, embora seja um método desenvolvido recentemente, já tem muitas aplicações práticas bem sucedidas.

São dois métodos flexíveis e facilmente adaptáveis às mudanças. Mudanças que ocorrem não só no problema em si, mas também no contexto em que está inserido e na forma de encara-lo. São ferramentas muito úteis, auxiliam o decisor a ter confiança e competência, aumentando significativamente o grau de objetividade e eficiência no momento da decisão. Eles preparam os decisores a responderem rapidamente às constantes mudanças, e ajudam a diminuir o grau de resistência própria do ser humano frente a mudanças.

Contudo, ao analista e aos decisores cabe a tarefa de fazerem cuidadosas considerações no momento da escolha do método apropriado à resolução de problemas conflitantes, que lhes é colocado. É preciso que estejam cientes das vantagens e limitações da metodologia utilizada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARBEL, Amil; ORGLER, Yair E. An application of the AHP to bank strategic planning: the mergers and acquisitions process. European Journal of Operational Research, v.48, p.27-37, 1990.

AZHAR, T. M., LEUNG, L. C. A multi-attribute product life-cycle approach to replacement decisions: an application of Saaty's system-with-feedback method. The Engineering Economist. v.38, n.4, p.321-343, 1993.

AZIS, Iwan J. Analytic Hierarchy Process in the benefit-cost framework: a post-evaluation of the Trans- Sumatra Highway Project. European Journal of Operational Research, v.48, p.38-48, 1990.

BANA e COSTA C.A. A methodology for sensitivity analysis in three-criteria problems: a case study in municipal management. European Journal of Operational Research, v.33, p.159-173, 1988.

_____, ALMEIDA, M. C. de. MENSOR - Metodo multicritério para segmentação ordenada. Investigação Operacional, v.10, n.1, p.19-28, junho de 1990.

_____, OLIVEIRA, R. C., ALVAREZ, M. L., MATOS, J.C. Concepção de um Sistema Multicritério de Definição de Prioridades de Intervenção/Conservação do Patrimônio Habitacional da C. M. Lisboa.

_____. Três convicções fundamentais na prática do apoio à decisão. Revista Pesquisa Operacional, v.13, n.1, junho de 1993 a.

_____. Processo de Apoio à Decisão: Problemáticas, Actores e Acções. Palestra Apresentada no Curso "Ambiente: Fundamentalismos e Pragmatismo", Seminário Pedro Nunes, Convento da Arrebida, Portugal. Agosto de 1993 b.

_____, VINCKE, P. Measuring Credibility of Compensatory Preference Statements When Trade-offs are Interval Determined, 1994.

_____, VANSNICK, J.C. The MACBETH approach: general overview and applications. The 11th International Conference on Multiple Criteria Decision Making, Coimbra, Portugal, august 1-6, 1994.

BANA e COSTA C.A, VANSNICK, J.C. A theoretical framework for measuring attractiveness by a categorical based evaluation technique (MACBETH). XIth Conference on MCDA, agosto de 1994.

_____, _____, Applicatios of the MACBETH approach in the framework of an additive aggregation model. Journal of Multi-Criteria Analysis, janeiro de 1995.

_____, STEWART, T. J., VANSNICK, J.C. Multicriteria decision analysis: some thoughts based on the tutorial and discussion sessions of the esigma meetings. 14th. European Conference on Operational Research, july, 1995 a.

_____, O que entender por tomada de decisão multicritério ou multiobjetivo? Introdução à Abordagem Multicritério. p.118-139, 1995 b.

BELTON, Valerie. A comparison of the analytic hierarchy process and a simple multi-attribute value function. European Journal of Operational Research. v.26, p.7-21, 1986.

CANADA, R. J. Intermediate Economic Analysis for Management and Engineering. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N.J.1971.

COOK, D. R, STASCHAK, S., GREEN, W. T. Equitable allocation of livers for orthotopic transplantation: an aplication of the analytic hierarchy process. European Journal of Operational Research, v.48, p.49-56, 1990.

DOBIAS, A. P. Designing a mouse trap using the analytic hierarchy process and expert choise. European Journal of Operational Research, v.48, p.57-65, 1990.

DYER, J.S., SARIN, R.K. Measurable muliattribute value functions. Operations Research, v.27, n.4, julho-agosto 1979.

ENSSLIN, L. A Engenharia Economica; Passado, Presente e Futuro. XV ENEGEP, 1994.

FALKNER, C. H., BENHAJLA. Muilt-attribute decision models and the justification of CIM systems. The Engineering Economist, v.35, n.2, p.91-114, winter 1990.

FORMAN, Ernest H. Random indices for incomplete pairwise comparison matrices. European Journal of Operational Research, v.48, p.153-155, 1990.

HÄMÄLÄINEN, R. P. A decision aid in the public debate on nuclear power. European Journal of Operational Research, v.48, p.66-76, 1990.

- HARKER, P.T., Incomplete pairwise comparisons in the analytic hierarchy process. Mathl. Modelling. v.9, n.11, p.837-848, 1987.
- HEGDE, G.G., TADIKAMALLA, P. R. Site selection for a "sure service terminal". European Journal of Operational Research, v.48, p.77-80, 1990.
- JOHNSON, H. T. Activity-based management: past, present, and future. The Engineering Economist, v.36, n.3, spring, p.219-239, 1991.
- KEENEY, R.L., RAIFFA, H. Decisions with Multiple Objectives: Preferences and Value Tradeoffs. John Wiley & Sons Ltd., 1976.
- LEZANA, R. R. Curso de Engenharia Econômica. Faculdade Católica de Administração e Economia. 1984.
- LIM, K. H., SWENSETH, S.R. An iterative procedure for reducing problem size in large scale AHP problems. European Journal of Operational Research. v.67, p.64-74, 1993.
- MILLET, I., HARKER, P. T. Globally effective questioning in the analytic hierarchy process. European Journal of Operational Research, v.48, p.88-97, 1990.
- MINTZBERG, H., RAISINGHANI, D., THÉORÊT, A. A estrutura dos processos de decisão "não estruturados".
- PARTOVI, F. Y., HOPTON, W. E. The analytic hierarchy process as applied to two types of inventory problems. Production and Inventory Management Journal, p.13-19, 1994.
- ROY, B., VINCKE, P. Multicriteria analysis: survey and new directions. European Journal of Operational Research. v.8, p.207-218, 1981.
- SAATY, T. L. Priority setting in complex problems. IEEE Transactions on Engineering Management, v.EM-30, n.3, p.140-155, august, 1983.
- _____, TAKIZAWA, M. Dependence and independence: from linear hierarchies to nonlinear networks. European Journal of Operational Research, v.26, p.229-237, 1986.
- _____, How to make a decision: the analytic hierarchy. European Journal of Operational Research. v.48, p.9-26, 1990.
- SAATY, T. L. Physics as a decision theory. European Journal of Operational Research. v.48, p.98-104, 1990.

- _____, Método de Análise Hierárquica. São Paulo: McGraw-Hill, Makron, 1991.
- SANCHES, N. Inflação de mestres e doutores. Revista Veja, Editora Abril, ano 28, n.26, p.64-71, 28 de junho de 1995.
- SINUANY-STERN, Z. S. Ranking of sports teams via the AHP. Journal of Operational Research. v.39, p.661-667, 1988.
- SRINIVASAN, V., BOLSTER, P. J. An industrial bond rating model based on the analytic hierarchy process. European Journal of Operational Research. v.48, p.105-119, 1990.
- SULLIVAN, W. G. A new paradigm for engineering economy. The Engineering Economist. v.36, n.3, spring, p.187-200, 1991.
- UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA. Centro Tecnológico. Coordenadoria do Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, 1994/95.
- VARGAS, L. G. An overview of the analytic hierarchy process and its applications. European Journal of Operational Research. v.48, p.2-8, 1990.
- WEBER, M., BORCHERDING, K. Behavioral influences on weight judgments in multiattribute decision making. European Journal of Operational Research. v.67, p.1-12, 1993.
- WEISS, E. Fly now or fly later? The delayed consumption problem. European Journal of Operational Research. v.48, p.128-135, 1990.
- ZAHEDI, F. A method for quantitative evaluation of expert systems. European Journal of Operational Research. v.48, p.136-147, 1990.

ANEXO 1

Técnica Delphi

Técnica Delphi

O método Delphi (CANADA, 1971) é uma técnica utilizada por um grupo de pessoas que tenham conhecimento substancial do evento que se deseja estimar, e que de preferência, possam de alguma forma, direta ou indireta, contribuir com o fornecimento de alguma informação adicional ao grupo. Trata-se de um método subjetivo, e portanto, não tem uma maior fundamentação matemática.

O método procura melhorar uma estimativa inicial, via de regra extremamente grosseira, podendo inclusive a primeira ser fixada entre menos e mais infinito; submetendo os pontos de vista dos indivíduos do grupo para os outros elementos, solicitando críticas; mantendo sempre o anonimato das opiniões e argumentos utilizados; e evitando nesta fase inicial o confronto face a face. Os participantes são solicitados a fornecerem suas opiniões e as razões que levaram-nos a dar estas opiniões. A cada subsequente entrevista, lhes são fornecidas as novas e mais refinadas informações disponíveis, na forma de um processo de opiniões computadas, através de um consenso de todas as informações existentes. O processo continua através de sucessivas iterações, até que atinja um ponto, onde um maior progresso na redução do intervalo da estimativa, torna-se questionável.

Como uma ilustração desta técnica, será suposto que deseja-se estimar as vendas de uma determinada empresa. Escolhe-se as pessoas que melhor poderiam fornecer estas informações, entre elas poderiam estar os diretores da empresa, os principais clientes, pessoas ligadas ao governo, representantes dos órgãos de financiamento, etc. Para a ilustração vamos admitir que selecionamos nove pessoas. A cada uma destas pessoas é solicitado realizar sua estimativa, e o resultado aparece representado na fig. A.1.1.

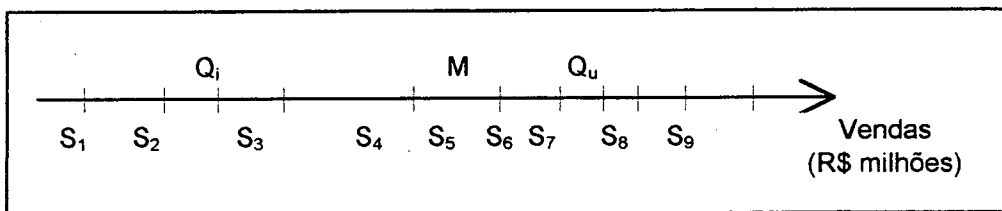


Fig. A.1.1: Ilustração da Técnica Delphi - Primeira Estimativa.

Uma vez conhecidas as estimativas iniciais, determina-se, a mediana e o "quartil" inferior e superior. M , Q_i e Q_s respectivamente.

Os valores de M , Q_i e Q_s são então comunicados a cada um dos elementos do grupo, e lhes é solicitado que reconsiderem suas estimativas anteriores, e, se sua nova estimativa cair fora do intervalo Q_i e Q_s , explicar brevemente as razões por que sua opinião difere dos demais 75% do grupo.

O resultado desta segunda iteração está representado na fig.A.1.2. Os resultados desta nova iteração apresentarão valores substancialmente mais concentrados que a anterior.

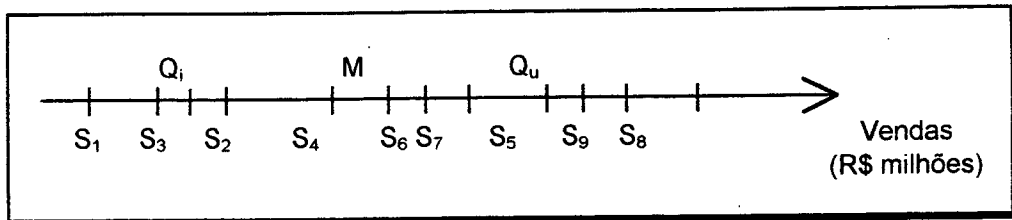


Fig. A.1.2.: Ilustração da Técnica Delphi - Segunda Estimativa.

Novamente envia-se as informações da nova medida e dos novos quartis aos participantes, bem como das justificativas, caso couber, dos que apresentaram suas estimativas nesta iteração fora do intervalo Q_i , Q_s da iteração anterior, sempre, no entanto, preservando o anonimato dos responsáveis pelas opiniões.

Neste ponto, aos estimadores, é novamente solicitado que refaçam individualmente suas previsões, pesando as razões e estimativas existentes. Caso alguma estimativa se situar fora do novo intervalo, Q_i e Q_s o responsável pela mesma é solicitado a argumentar as razões que levaram-no a discordar da medida apresentada pelo grupo. Estas informações geram a terceira iteração.

Este processo deve, então, continuar ainda por tantas iterações quanto for julgado conveniente. Ao final a mediana pode ser utilizada como uma estimativa para as vendas, e a dispersão existente em torno deste valor, é geralmente um indicador conservativo do risco envolvido.

ANEXO 2

Aplicações do AHP

Aplicações do AHP

O ingrediente principal que tem levado as aplicações com o AHP a terem sucesso, é o poder de incluir e medir fatores importantes, qualitativos e/ou quantitativos sejam eles tangíveis ou intangíveis, e a facilidade de uso, por ser um processo flexível, que apela para a lógica e ao mesmo tempo, utiliza a intuição. O seu sucesso é uma consequência da sua simplicidade e robustez. A seguir é dado um resumo de algumas aplicações do AHP, com o objetivo, de mostrar a diversificação na aplicação do método.

Projetando uma Ratoeira com o Apoio do AHP e do *Expert Choise*.

Designing a Mouse Trap Using the Analytic Hierarchy Process and Expert Choise. (DOBIAS, 1990)

O artigo apresenta um problema de projeto de engenharia, o qual demonstra como o AHP ajuda a elucidar o processo de pensamento em diferentes estágios. No modelo, a primeira decisão foi selecionar o método para exterminar os roedores (o choque elétrico foi o escolhido). A segunda decisão foi determinar onde deveria ser dado o choque (cabeça, tronco, pescoço, pernas, rabo ou pés). O próximo estágio, foi solucionar o problema de como atrair o rato (atratividade da ratoeira), a forma física da ratoeira e o mercado. Entretanto, o objetivo principal que levou o analista a utilizar o AHP, não foi de construir a melhor ratoeira, mas sim de levar os estudantes e as pessoas envolvidas, a aprenderem a trabalhar em grupo, a desenvolverem a personalidade e o auto-conhecimento através do uso do raciocínio.

Aplicando o AHP no Planejamento Estratégico de Banco: Processo de Fusão e Aquisição.

An Application of the AHP to Bank Strategic Planning: The Mergers and Acquisitions Process. (ARBEL; ORGLER, 1990).

A metodologia AHP é aplicada no planejamento estratégico num ambiente bancário, particularmente para a estratégia de fusão e aquisição, a qual é uma das tarefas mais complexas e mais mal estruturadas, desempenhadas pelos bancos. O método foi testado em apenas um banco. Embora seja difícil de generalizar um experimento com um simples procedimento, não existia, nada único na situação onde o teste foi desempenhado. Portanto, é seguro supor, que a metodologia AHP pode ser aplicada em outras questões estratégicas, complexas e mal estruturadas, desempenhadas por outras instituições bancárias. Comparada

com outras técnicas existentes, o AHP fornece uma útil, simples e poderosa ferramenta para desempenhar planejamento estratégico em bancos.

Seleção da Localização da Planta do Terminal de Serviços Seguros.

Site Selection for a Sure Service Terminal. (HEDGE; TADIKAMALLA,1990).

Este artigo relata o uso do AHP para solucionar o problema de localização da planta de uma grande empresa multinacional. O problema é decidir onde situar o seu centro de serviço terminal da divisão de partes sobressalentes, atribuídos ao Terminal de Serviços Seguros (SST). Devido ao rápido crescimento das suas partes sobressalentes, os administradores tem começado a se preocupar, por suas operações não serem tão eficientes como poderiam ser.

A metodologia deveria ajudar a responder algumas perguntas tais como: Deveria a empresa expandir seus terminais? Deveria ter diversos SST's? Deveria construir diversas novas plantas em diferentes lugares? Neste caso, era necessário analisar se o sistema atual para determinar se a prática corrente de ter um único SST, era o modo mais eficiente de negociar a distribuição de partes sobressalentes. Uma parte das peças sobressalentes são de fabricação própria, outras são compradas de vendedores externos, dos quais as fábricas estão espalhadas pelos Estados Unidos. Para manter um alto padrão de qualidade, todas as peças recebidas no SST são inspecionadas antes de serem expedidas para os vendedores, que também estão espalhados pelos Estados Unidos. Os administradores estavam considerando quatro diferentes localizações, cada uma das quais estavam no meio, entre os clientes e os vendedores. O objetivo deste estudo foi selecionar a localização de uma ou a combinação de vários locais das SST(s), para a divisão de partes sobressalentes.

O AHP foi introduzido e utilizado com sucesso na resolução do problema. Uma característica distinta notada pelos autores, é que os administradores desenvolveram um senso de domínio no descobrimento do estudo, porque o AHP facilita seu envolvimento em cada nível. Conseqüentemente, as descobertas e as conclusões foram prontamente implementadas nos seus planos de negócio.

Alocação de Fígado para Transplante Orthotopic: Uma Aplicação do AHP.

Equitable Allocation of Livers for Orthotopic Transplantation: An Application of the Analytic Hierarchy Process. (COOK; STASCHAK; GREEN, 1990).

O artigo discute o uso do Analytic Hierarchy Process (AHP), para desenvolver um sistema de avaliação de alocação de fígado dos cadáveres para transplante orthotopic. Os cinco principais critérios foram estabelecidos, definidos, e a taxa relativa de um com outro: considerações logísticas, compatibilidade de tecido, tempo de espera, considerações financeiras e estado médico. Os subcritérios também foram estabelecidos e a taxa de um em relação ao outro, em termos relativos. Pacientes que encontravam inclusões apropriadas dos restos dos critérios, eram então ordenados para selecionar e determinar a apropriada taxa do subcritério, numa seleção do critério principal. O peso final foi usado para desenvolver uma alternativa para um ponto multifatorial computadorizado rígido. Este artigo é importante para demonstrar a utilidade do processo AHP, em tomadas de decisão médica complexa. O interesse aqui foi desenvolver um modelo AHP, para ordenar os pacientes de fígado e testar o modelo final contra os sistemas atuais utilizados.

AHP numa Estrutura de Custo-benefício: Uma pós Avaliação do Projeto de Construção da Estrada Trans-Sumatra.

Analytic Hierarchy Process in the Benefit-Cost Framework: A Post-Evaluation of the Trans-Sumatra Highway Project. (AZIS, 1990).

O artigo utiliza o AHP, para fazer uma pós-avaliação do impacto global de acordo com a percepção das pessoas locais, e não dos pesquisadores ou de qualquer outro indivíduo (partido), na construção de uma estrada. Muitos dos estudos de custo e benefício tendem a subestimar a importância da sociedade local, onde o impacto do projeto é sentido mais fortemente. Já quando alguém fala sobre custo e benefício de um projeto local, idealmente, ele poderia estar se referindo a estes benefícios e custos que afetam as pessoas locais, direta ou indiretamente.

O "Analytic Hierarchy Process" (AHP), foi utilizado para captar, de um modo racional, a percepção das pessoas sobre a estrada, mesmo quando exista algum grau de inconsistência. Partindo da premissa que a opinião dos membros da sociedade estão distanciadas da representação dos pesquisadores ou políticos, os quais não estão envolvidos no dia a dia do ambiente local, e que estão isolados da forma dinâmica que conquista lugar na região, onde o projeto está localizado.

Ordenação dos Times de Futebol via AHP.

Ranking of sports teams via the AHP. (SINUANY-STERN, 1988).

Apresenta uma aplicação do AHP para prever os resultados finais da temporada de futebol (soccer) da Israel National League. Foram avaliados 16 times, utilizando 6 critérios (atributos) para a avaliação, são eles: campo de futebol, treinador, os jogadores, o entusiasmo dos jogadores, o desempenho do time na temporada anterior, e o desempenho atual. A abordagem ajudou a ordenar os times e a determinar em que área um time era melhor que os outros, e em que área era o pior.

Resumindo o AHP tem aplicações (VARGAS, 1990) em diferentes áreas, tais como:

Economia/ Problemas administrativos

- *Design*: - Arquitetura
- Finanças
- *Marketing*
- Planejamento
- Seleção de Portfolio
- Previsão

Problemas Políticos

- Conflitos e Negociações
- Jogos de Guerra

Problemas Sociais

- Comportamento em competição
- Educação
- Medicina
- Direito
- Setor Público

Problemas Tecnológicos

- Seleção de Mercado
- Tecnologia de Transferência

ANEXO 3

**Comparação Entre os Quatro Métodos Simplificados
Apresentados por Saaty para Calcular as Matrizes de
Julgamento.**

Tabela de Razão de Consistência
(%)

	Método 1	Método 2	Método 3	Método 4
1	0,0639	0,0639	0,0876	0,0876
2	0,1435	0,1436	0,1752	0,1616
3	0,1435	0,1436	0,1752	0,1616
4	0,1435	0,1436	0,1752	0,1616
5	0,1780	0,1782	0,1948	0,1877
6	0,1780	0,1782	0,1986	0,1976
7	0,1780	0,1783	0,1976	0,1986
8	0,1801	0,1802	0,2568	0,2319
9	0,1801	0,1804	0,2319	0,2568
10	0,1833	0,1834	0,2471	0,2284
11	0,1833	0,1834	0,2471	0,2284
12	0,1858	0,1859	0,2468	0,2349
13	0,1858	0,1859	0,2468	0,2349
14	0,2017	0,2019	0,2504	0,2374
15	0,2069	0,2071	0,2727	0,2537
16	0,2231	0,2232	0,2386	0,2386
17	0,2248	0,2249	0,3137	0,3026
18	0,2411	0,2415	0,3168	0,3103
19	0,2476	0,2478	0,3315	0,3061
20	0,2600	0,2601	0,3435	0,3174
21	0,2617	0,2620	0,2808	0,2818
22	0,2781	0,2783	0,3894	0,3950
23	0,2865	0,2869	0,3530	0,3580
24	0,2999	0,2999	0,3511	0,3374
25	0,2999	0,2999	0,3511	0,3374
26	0,3210	0,3213	0,4162	0,3806
27	0,3210	0,3213	0,4162	0,3806
28	0,3408	0,3415	0,4529	0,4300
29	0,3632	0,3637	0,4804	0,4773
30	0,3632	0,3637	0,4804	0,4773
31	0,3868	0,3873	0,4587	0,4973
32	0,3868	0,3873	0,4587	0,4973
33	0,4088	0,4100	0,5911	0,5032
34	0,4088	0,4097	0,5826	0,5239
35	0,4088	0,4118	0,5239	0,5826
36	0,4088	0,4112	0,5032	0,5911
37	0,4319	0,4343	0,5088	0,5121
38	0,4519	0,4535	0,6045	0,6247
39	0,4579	0,4592	0,6188	0,5400
40	0,4579	0,4588	0,6253	0,5898
41	0,4617	0,4625	0,5791	0,5477
42	0,5272	0,5277	0,5945	0,5816
43	0,5272	0,5277	0,5945	0,5816
44	0,5309	0,5323	0,6931	0,7507
45	0,5310	0,5319	0,6485	0,5835
46	0,5333	0,5360	0,7088	0,7951
47	0,5376	0,5402	0,6511	0,7157
48	0,5455	0,5493	0,6313	0,5809

Continuação ...

	Método 1	Método 2	Método 3	Método 4
49	0,6979	0,7019	1,0350	0,8461
50	0,6991	0,7041	0,8726	0,8449
51	0,7642	0,7688	0,8800	1,0663
52	0,7663	0,7725	0,8315	0,8223
53	0,7663	0,7696	0,8217	0,8679
54	0,7663	0,7704	1,0722	0,8941
55	0,7674	0,7713	0,9895	1,1411
56	0,8306	0,8394	1,0464	1,0687
57	0,8330	0,8397	0,8525	0,9281
58	0,8459	0,8529	0,8922	0,8873
59	0,8460	0,8540	1,0171	1,1804
60	0,8509	0,8574	0,8954	0,9290
61	0,8509	0,8574	0,8954	0,9290
62	0,8509	0,8544	0,9259	1,0116
63	0,8509	0,8621	0,9290	0,8954
64	0,8509	0,8644	1,0116	0,9259
65	0,8752	0,8802	1,0351	1,0060
66	0,9728	0,9781	1,0663	1,0588
67	1,0024	1,0190	1,1715	1,3234
68	1,0209	1,0298	1,5573	1,2327
69	1,0209	1,0275	1,5326	1,2765
70	1,0209	1,0410	1,2765	1,5326
71	1,0292	1,0482	1,2305	1,1393
72	1,0426	1,0454	1,4533	1,4417
73	1,0426	1,0454	1,4533	1,4417
74	1,0426	1,0454	1,4533	1,4417
75	1,0426	1,0454	1,4533	1,4417
76	1,0438	1,0527	1,3372	1,6152
77	1,0479	1,0560	1,4944	1,7066
78	1,1064	1,1131	1,6004	1,3851
79	1,1064	1,1155	1,6022	1,2898
80	1,1079	1,1113	1,5120	1,5273
81	1,1234	1,1281	1,6803	1,6818
82	1,1861	1,2029	1,4244	1,7217
83	1,2000	1,2191	1,3787	1,3025
84	1,2237	1,2243	1,7019	1,6053
85	1,2240	1,2254	1,7514	1,6556
86	1,2240	1,2254	1,7514	1,6556
87	1,2240	1,2254	1,7514	1,6556
88	1,2365	1,2375	1,7883	1,6814
89	1,2664	1,2685	1,7925	1,6911
90	1,2664	1,2685	1,7925	1,6911
91	1,2692	1,2870	1,4640	1,9245
92	1,2944	1,2982	1,6312	1,7395
93	1,2951	1,2982	1,7604	1,7368
94	1,3109	1,3143	1,9470	1,8287
95	1,3246	1,3261	1,7519	1,6679
96	1,3312	1,3325	1,9308	1,7926
97	1,3441	1,3604	1,7178	2,1520
98	1,3442	1,3656	1,6043	1,4135

Continuação ...

	Método 1	Método 2	Método 3	Método 4
99	1,3632	1,3796	2,1385	1,6476
100	1,4191	1,4248	2,1762	2,0417
101	1,4361	1,4746	1,9157	2,5395
102	1,4385	1,4650	1,6814	1,6439
103	1,4642	1,4809	2,1900	1,7124
104	1,5439	1,5520	2,4137	2,2691
105	1,5440	1,5727	1,8585	2,3205
106	1,5488	1,5515	2,1389	2,0155
107	1,5551	1,5591	2,2249	2,0309
108	1,5603	1,5624	1,9011	1,8344
109	1,5686	1,5780	2,4574	2,3075
110	1,5686	1,5780	2,4574	2,3075
111	1,5729	1,5764	2,2663	2,0709
112	1,5873	1,5893	2,1491	2,1059
113	1,5977	1,6377	1,9075	1,8930
114	1,6562	1,6647	2,6082	2,3219
115	1,6639	1,7106	1,9440	2,3804
116	1,6892	1,7141	1,8879	1,8830
117	1,7063	1,7191	2,5922	2,5455
118	1,7162	1,7713	2,1306	2,7223
119	1,7162	1,7366	2,7223	2,1306
120	1,7170	1,7708	2,2795	2,0544
121	1,7866	1,8007	2,7862	2,6407
122	1,8253	1,8667	2,1169	2,9628
123	1,8302	1,8588	1,9540	1,9637
124	1,8314	1,8520	2,8072	2,2710
125	1,8407	1,8437	2,6122	2,3359
126	1,8543	1,8643	2,4947	2,2905
127	1,8867	1,9039	2,7593	2,8302
128	1,9302	1,9765	2,2402	2,1403
129	1,9535	1,9719	2,8699	2,9257
130	1,9826	1,9896	2,5710	2,4062
131	1,9964	2,0015	2,5569	2,3828
132	1,9968	2,0073	2,9037	2,5818
133	1,9976	2,0123	2,7556	2,4763
134	2,0846	2,0993	3,4202	2,9746
135	2,0975	2,1202	3,2154	3,0776
136	2,1373	2,1467	2,4104	2,3588
137	2,1551	2,1598	3,1579	2,6830
138	2,1720	2,1829	3,4118	2,8915
139	2,2138	2,2244	2,8610	2,8505
140	2,2590	2,2861	3,2281	3,3970
141	2,2929	2,3195	3,4558	2,8920
142	2,3008	2,3188	2,6807	2,6560
143	2,3538	2,4450	2,7545	3,5914
144	2,4004	2,4752	2,7992	4,1235
145	2,4085	2,4437	3,7158	3,1620
146	2,4353	2,4791	4,0613	3,0164
147	2,4353	2,5408	3,0164	4,0613
148	2,4561	2,4787	3,6196	3,1428

Continuação ...

	Método 1	Método 2	Método 3	Método 4
149	2,4688	2,5926	3,3050	4,8013
150	2,4806	2,5179	3,4370	3,7703
151	2,5425	2,5821	3,7831	3,6565
152	2,5425	2,5821	3,7831	3,6565
153	2,5425	2,5821	3,7831	3,6565
154	2,5625	2,6013	3,8288	3,6717
155	2,5762	2,6203	4,1592	3,1820
156	2,5858	2,5920	3,0649	2,5739
157	2,5859	2,6261	2,5739	3,0649
158	2,5968	2,6361	3,6353	3,9318
159	2,5998	2,6378	3,7976	3,6621
160	2,6366	2,6832	3,9182	3,8512
161	2,6466	2,6874	3,9435	3,7734
162	2,6717	2,6983	4,5997	3,7228
163	2,6794	2,7626	3,1565	3,0319
164	2,7427	2,7839	3,9007	3,8048
165	2,8179	2,8533	3,8835	3,3763
166	2,8256	2,8717	4,1528	3,9944
167	2,8524	2,9058	3,7061	3,3061
168	2,9213	2,9519	3,6961	3,7011
169	2,9312	2,9708	4,3900	3,7315
170	2,9373	2,9863	4,0610	4,0480
171	2,9528	3,0076	4,0742	4,5132
172	2,9800	3,0958	3,4922	5,3722
173	3,0274	3,0915	4,3417	4,3720
174	3,0477	3,1943	3,5741	4,9079
175	3,0481	3,1760	3,3622	3,2967
176	3,1522	3,2081	4,4996	4,3900
177	3,1535	3,1838	3,4543	3,9904
178	3,1550	3,3227	3,9058	5,5018
179	3,1550	3,2328	5,5018	3,9058
180	3,1618	3,2345	4,2446	4,9109
181	3,1642	3,2252	4,2606	4,3682
182	3,1925	3,2666	4,5546	4,4417
183	3,2503	3,4235	3,7210	3,5517
184	3,2747	3,3200	5,8982	4,4830
185	3,3189	3,4262	3,3472	3,6542
186	3,3189	3,3971	5,6101	4,0924
187	3,3467	3,4191	4,3892	4,6513
188	3,3798	3,4180	5,8185	4,4709
189	3,3987	3,5686	3,7323	3,4096
190	3,3989	3,4664	4,5740	4,6531
191	3,4121	3,4735	5,2004	4,3361
192	3,4139	3,5315	3,6224	3,7047
193	3,4260	3,5533	4,1022	3,9512
194	3,4999	3,6092	3,5117	3,9583
195	3,4999	3,6092	3,5117	3,9583
196	3,4999	3,7061	3,9583	3,5117
197	3,5016	3,5604	3,7601	3,7160
198	3,5124	3,7620	4,7232	7,3342

Continuação ...

	Método 1	Método 2	Método 3	Método 4
199	3,5564	3,7196	4,1862	6,6866
200	3,6221	3,7569	3,7750	3,8344
201	3,6512	3,7117	4,5900	4,5959
202	3,7264	3,8005	5,0659	5,0646
203	3,7348	3,9445	4,3897	6,3004
204	3,7923	3,8816	5,0526	5,2512
205	3,8040	3,8816	5,4464	4,5221
206	3,8656	3,9882	7,0152	4,7866
207	3,8656	4,1039	4,7866	7,0152
208	3,8693	3,9914	5,1006	6,1690
209	3,8796	3,9515	7,2829	5,2410
210	4,0504	4,1736	7,1322	4,9911
211	4,1135	4,2413	5,4510	5,5430
212	4,1612	4,3379	5,0650	4,8857
213	4,1797	4,3290	5,6532	5,5535
214	4,2551	4,3808	5,6037	6,0506
215	4,2672	4,5587	5,2235	4,2993
216	4,3808	4,4792	5,5155	5,5100
217	4,4104	4,6885	5,1952	7,7500
218	4,4796	4,5864	8,7324	5,9900
219	4,5347	4,9389	6,1231	10,0314
220	4,5629	4,7411	8,5831	5,6533
221	4,5629	4,8773	5,6533	8,5831
222	4,5708	4,6623	8,4645	6,0495
223	4,5789	4,7618	5,9718	7,5043
224	4,6427	4,8410	5,5726	5,0185
225	4,7492	4,9241	6,1878	6,9898
226	4,7492	4,9241	6,1878	6,9898
227	4,7640	4,8786	6,0318	6,2437
228	4,7670	4,9462	8,7076	5,8733
229	4,7761	4,9115	7,1140	5,6726
230	4,8443	4,9483	5,2947	5,4525
231	4,8454	4,9995	5,1163	5,6944
232	4,8784	5,1541	6,8684	5,3787
233	4,8812	5,1116	6,0382	5,8287
234	4,8945	4,9042	6,5899	4,9080
235	4,8945	5,0556	4,9080	6,5899
236	4,9086	5,0945	5,9990	7,1395
237	5,0946	5,3057	6,2791	6,5118
238	5,1005	5,2431	6,4591	6,4318
239	5,2562	5,4908	6,7862	8,0309
240	5,2806	5,5328	6,8426	8,8936
241	5,4859	5,7175	7,3591	8,4531
242	5,5266	6,1042	7,4875	12,8366
243	5,7227	5,9308	8,8510	6,8071
244	5,7228	5,8963	11,2572	7,5891
245	5,7665	6,0693	7,3888	9,1490
246	5,7879	6,1157	7,3466	7,2519
247	5,8062	5,9982	7,4136	7,3555
248	5,9697	6,2975	7,7056	10,3228

Continuação ...

	Método 1	Método 2	Método 3	Método 4
249	6,3997	6,7457	8,7268	10,4950
250	6,4060	6,5234	6,7919	7,9672
251	6,4863	7,2489	8,8104	15,7169
252	6,6409	6,9361	10,6370	7,9175
253	6,8320	7,1164	14,1472	9,0776
254	6,8457	7,0868	7,9016	8,5392
255	7,0452	7,0496	10,3904	7,1075
256	7,0453	7,3625	7,1075	10,3904
257	7,3479	7,8551	10,1343	12,8417
258	7,4149	8,3686	10,0903	18,6516
259	7,5309	7,9273	12,4592	9,0012
260	7,5361	7,9650	8,0829	8,0085
261	7,5825	8,2762	7,9950	7,8260
262	7,5899	8,1574	9,0464	8,7512
263	7,8750	8,7447	8,7701	8,0046
264	7,8999	8,3234	17,1051	10,5120
265	8,1890	8,8182	8,3296	8,7282
266	8,2411	8,4407	9,0275	10,5285
267	8,2886	8,9915	11,5322	15,3736
268	8,5386	9,2432	8,7555	8,9788
269	8,7752	9,5870	10,3616	10,2369
270	8,9295	9,5189	20,1125	11,8930
271	9,0795	9,0784	14,3488	9,1873
272	9,0797	9,5568	9,1873	14,3488
273	9,2080	10,1309	12,9017	18,0275
274	9,5603	10,4223	10,4552	9,8059

ANEXO 4

Listagem da Execução do Programa MACBETH.

```
1 SETS
2 K categories / 1*6 /
INCLUDE C:\GAMS386\SETA.INC
4
5 * Nombre d'actions a considerer
6
7 A actions / 1 *14 / ;
8
9 ALIAS (A,B);
10
11 PARAMETER DP(A,B)
INCLUDE C:\GAMS386\PARAM.INC
13
14 /14.13 1
15 14.12 2
16 14.11 4
17 14.10 4
18 14.9 4
19 14.8 4
20 14.7 4
21 14.6 4
22 14.5 5
23 14.4 5
24 14.3 5
25 14.2 6
26 14.1 6
27 13.12 2
28 13.11 4
29 13.10 4
30 13.9 4
31 13.8 4
32 13.7 4
33 13.6 4
34 13.5 5
35 13.4 5
36 13.3 5
37 13.2 6
38 13.1 6
39 12.11 3
40 12.10 3
41 12.9 3
42 12.8 4
43 12.7 4
44 12.6 4
45 12.5 5
46 12.4 5
47 12.3 5
48 12.2 6
49 12.1 6
50 11.10 1
51 11.9 1
52 11.8 2
53 11.7 3
```

G eneral Algebraic Modeling System

C ompilation

54	11.63
55	11.54
56	11.44
57	11.34
58	11.26
59	11.16
60	10.91
61	10.82
62	10.72
63	10.63
64	10.54
65	10.44
66	10.34
67	10.26
68	10.16
69	9.82
70	9.72
71	9.63
72	9.54
73	9.44
74	9.34
75	9.26
76	9.16
77	8.72
78	8.62
79	8.53
80	8.43
81	8.33
82	8.25
83	8.16
84	7.62
85	7.53
86	7.43
87	7.33
88	7.25
89	7.16
90	6.52
91	6.42
92	6.33
93	6.25
94	6.16
95	5.41
96	5.32
97	5.25
98	5.16
99	4.32
100	4.25
101	4.16
102	3.24
103	3.15
104	2.13/;
105	
106	SET CDP;

GLOBAL TYPE	LOCAL FILE NAME
0 INPUT	0 C:\GAMS386\ULTIMO.GMS
3 INCLUDE	3 .C:\GAMS386\SETA.INC
12 INCLUDE	8 .C:\GAMS386\PARAM.INC

COMPILATION TIME = 0.440 SECONDS VERID MW2-00-051

---	108 SET	CDP	1	2	3	4	5
2.1					YES		
3.1							YES
3.2						YES	
4.1							
4.2							YES
4.3				YES			
5.1							
5.2							YES
5.3				YES			
5.4	YES						
6.1							
6.2							YES
6.3					YES		
6.4				YES			
6.5				YES			
7.1							
7.2							YES
7.3					YES		
7.4					YES		
7.5					YES		
7.6				YES			
8.1							
8.2							YES
8.3					YES		
8.4					YES		
8.5					YES		
8.6				YES			
8.7				YES			
9.1							
9.2							
9.3						YES	
9.4							
YES							
9.5							
YES							
9.6					YES		

9.7			YES	
9.8			YES	
10.1				
10.2				
10.3				YES
10.4				YES
10.5				YES
10.6			YES	
10.7		YES		
10.8		YES		
10.9	YES			
11.1				YES
11.2				YES
11.3				YES
11.4				YES
11.5				YES
11.6			YES	
11.7			YES	
11.8		YES		
11.9	YES			
11.10	YES			
12.1				YES
12.2				YES
12.3				YES
12.4				YES
12.5				YES
12.6				YES
12.7				YES
12.8				YES
12.9			YES	
12.10			YES	
12.11			YES	
13.1				YES
13.2				YES
13.3				YES
13.4				YES
13.5				YES
13.6				YES
13.7				YES
13.8				YES
13.9				YES
13.10				YES
13.11				YES
13.12		YES		
14.1				YES
14.2				YES
14.3				YES
14.4				YES
14.5				YES
14.6				YES
14.7				YES
14.8				YES
14.9				YES
14.10				YES
14.11				YES
14.12		YES		
14.13	YES			

MODEL STATISTICS

BLOCKS OF EQUATIONS 7 SINGLE EQUATIONS 196
BLOCKS OF VARIABLES 6 SINGLE VARIABLES 209
NON ZERO ELEMENTS 935

GENERATION TIME = 0.660 SECONDS

EXECUTION TIME = 0.880 SECONDS VERID MW2-00-051

SOLVE SUMMARY

MODEL MC1 OBJECTIVE FO1
TYPE LP DIRECTION MINIMIZE
SOLVER BDMLP FROM LINE 187

**** SOLVER STATUS 1 NORMAL COMPLETION ****
MODEL STATUS 1 OPTIMAL **** OBJECTIVE
VALUE 0.0000

RESOURCE USAGE, LIMIT 7.140 1000.000
ITERATION COUNT, LIMIT 397 1000

BDM - LP VERSION 1.01

A. Brooke, A. Drud, and A. Meeraus,
Analytic Support Unit,
Development Research Department,
World Bank,
Washington, D.C. 20433, U.S.A.

Work space allocated -- 0.15 Mb

EXIT -- OPTIMAL SOLUTION FOUND.

**** REPORT SUMMARY : 0
NONOPT 0 INFEASIBLE
0 UNBOUNDED

MODEL STATISTICS

BLOCKS OF EQUATIONS 12 SINGLE EQUATIONS 208
BLOCKS OF VARIABLES 6 SINGLE VARIABLES 39 NON ZERO
ELEMENTS 634

GENERATION TIME = 0.660 SECONDS

EXECUTION TIME = 0.930 SECONDS VERID MW2-00-051

SOLVE SUMMARY

MODEL MC2 OBJECTIVE FO2
TYPE LP DIRECTION MINIMIZE
SOLVER BDMLP FROM LINE 209

**** SOLVER STATUS 1 NORMAL COMPLETION ****
MODEL STATUS 1 OPTIMAL **** OBJECTIVE
VALUE 6800042.0000

RESOURCE USAGE, LIMIT 1.150 1000.000
ITERATION COUNT, LIMIT 61 1000

BDM - LP VERSION 1.01

A. Brooke, A. Drud, and A. Meeraus,
Analytic Support Unit,
Development Research Department,
World Bank,
Washington, D.C. 20433, U.S.A.

Work space allocated -- 0.15 Mb

EXIT -- OPTIMAL SOLUTION FOUND.

**** REPORT SUMMARY : 0
NONOPT
0 INFEASIBLE
0 UNBOUNDED

MODEL STATISTICS

BLOCKS OF EQUATIONS	12	SINGLE EQUATIONS	208
BLOCKS OF VARIABLES	6	SINGLE VARIABLES	39
NON ZERO ELEMENTS	634		

GENERATION TIME = 0.660 SECONDS

EXECUTION TIME = 0.820 SECONDS VERID MW2-00-051

SOLVE SUMMARY

MODEL	MC2	OBJECTIVE	FO2
TYPE	LP		DIRECTION
MINIMIZE			
**** SOLVER STATUS		1	NORMAL COMPLETION
**** MODEL STATUS		1	OPTIMAL
**** OBJECTIVE VALUE			6800042.0000
RESOURCE USAGE, LIMIT		1.150	1000.000
ITERATION COUNT, LIMIT		61	1000

BDM - LP VERSION 1.01

A. Brooke, A. Drud, and A. Meeraus,
Analytic Support Unit,
Development Research Department,
World Bank,
Washington, D.C. 20433, U.S.A.

Work space allocated -- 0.15 Mb

EXIT -- OPTIMAL SOLUTION FOUND.

**** REPORT SUMMARY :
0 NONOPT
0 INFEASIBLE
0 UNBOUNDED

---- 235 VARIABLE GAMMAL

3 5.000, 4 6.000, 5 11.000, 6 11.000

---- 235 VARIABLE DELTA

2 5.000, 3 6.000, 4 13.000, 5 11.000

---- 235 PARAMETER V

	1	2	3	4	5	6
1		-17.000	-49.000	-52.000	-53.000	-60.000
2	17.000		-32.000	-35.000	-36.000	-43.000
3	49.000	32.000		-3.000	-4.000	-11.000
4	52.000	35.000	3.000		-1.000	-8.000
5	53.000	36.000	4.000	1.000		-7.000
6	60.000	43.000	11.000	000	7.000	
7	63.000	46.000	14.000	11.000	10.000	3.000
8	66.000	49.000	17.000	14.000	13.000	6.000
9	71.000	54.000	22.000	19.000	18.000	11.000
10	72.000	55.000	23.000	20.000	19.000	12.000
11	73.000	56.000	24.000	21.000	20.000	13.000
12	88.000	71.000	39.000	36.000	35.000	28.000
13	91.000	74.000	42.000	39.000	38.000	31.000
14	92.000	75.000	43.000	40.000	39.000	32.000
+	7	8	9	10	11	12
1	-63.000	-66.000	-71.000	-72.000	-73.000	-88.000
2	-46.000	-49.000	-54.000	-55.000	-56.000	-71.000
3	-14.000	-17.000	-22.000	-23.000	-24.000	-39.000
4	-11.000	-14.000	-19.000	-20.000	-21.000	-36.000
5	-10.000	-13.000	-18.000	-19.000	-20.000	-35.000
6	-3.000	-6.000	-11.000	-12.000	-13.000	-28.000
7		-3.000	-8.000	-9.000	-10.000	-25.000
8	3.000		-5.000	-6.000	-7.000	-22.000
9	8.000	5.000		-1.000	-2.000	-17.000
10	9.000	6.000	1.000		-1.000	-16.000
11	10.000	7.000	2.000	1.000		-15.000
12	25.000	22.000	17.000	16.000	15.000	
13	28.000	25.000	20.000	19.000	18.000	3.000
14	29.000	26.000	21.000	20.000	19.000	4.000
+	13	14				
1	-91.000	-92.000				
2	-74.000	-75.000				
3	-42.000	-43.000				
4	-39.000	-40.000				
5	-38.000	-39.000				

235 PARAMETER V

	13	14
6	-31.000	-32.000
7	-28.000	-29.000
8	-25.000	-26.000
9	-20.000	-21.000
10	-19.000	-20.000
11	-18.000	-19.000
12	-3.000	-4.000
13		-1.000
14	1.000	

---- 235 VARIABLE B.I.L limite inferior

1 1.000, 2 3.000, 3 10.000, 4 18.000, 5 35.000, 6 52.000

---- 235 VARIABLE B.S.L limite superior

1 2.000, 2 9.000, 3 17.000, 4 32.000, 5 49.000, 6 92.000

---- 235 VARIABLE G.L atratividade

2 17.000, 3 49.000, 4 52.000, 5 53.000, 6 60.000, 7 63.000
 8 66.000, 9 71.000, 10 72.000, 11 73.000, 12 88.000, 13 91.000
 14 92.000

---- 235 PARAMETER ALPHA1

(ALL 0.000)

---- 235 PARAMETER BETA1

(ALL 0.000)

---- 235 PARAMETER GAMMAPROP

3 5.435, 4 6.522, 5 11.957, 6 11.957

235 PARAMETER VPROP

+		13	14
11	-19.565	-20.652	
12	-3.261		-4.348
13			-1.087
14	1.087		

--- 235 PARAMETER BIPROP

1 1.087, 2 3.261, 3 10.870, 4 19.565, 5 38.043, 6 56.522

--- 235 PARAMETER BSPROP

1 2.174, 2 9.783, 3 18.478, 4 34.783, 5 53.261, 6 100.000

--- 235 PARAMETER GPROP

2 18.478, 3 53.261, 4 56.522, 5 57.609, 6 65.217
7 68.478, 8 71.739, 9 77.174, 10 78.261, 11 79.348
12 95.652, 13 98.913, 14 100.000

--- 235 PARAMETER ALPHAPROP

(ALL 0.000)

--- 235 PARAMETER BETAPROP

(ALL 0.000)

EXECUTION TIME = 0.390 SECONDS VERID MW2-00-051