

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E SISTEMAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**A METODOLOGIA MULTICRITÉRIO DE APOIO À DECISÃO ANALYTIC
HIERARCHY PROCESS (AHP) : UM ESTUDO DE CASO NA
PRIORIZAÇÃO DE TRAÇADO DE PAVIMENTAÇÃO DE UMA ESTRADA**

CHRISTIANE WENCK NOGUEIRA

Florianópolis - SC

2002

CHRISTIANE WENCK NOGUEIRA

**A METODOLOGIA MULTICRITÉRIO DE APOIO À DECISÃO ANALYTIC
HIERARCHY PROCESS (AHP) : UM ESTUDO DE CASO NA
PRIORIZAÇÃO DE TRAÇADO DE PAVIMENTAÇÃO DE UMA ESTRADA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Santa Catarina para obtenção do grau de Mestre em Engenharia de produção.

Orientador: Prof. Mirian Buss Gonçalves

Florianópolis - SC

2002

Christiane Wenck Nogueira

**A METODOLOGIA MULTICRITÉRIO DE APOIO À DECISÃO ANALYTIC
HIERARCHY PROCESS (AHP) : UM ESTUDO DE CASO NA
PRIORIZAÇÃO DE TRAÇADO DE PAVIMENTAÇÃO DE UMA ESTRADA**

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do Título de Mestre em Engenharia de Produção (Área de concentração: Transporte e Logística), e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção.

Prof. Edson Pacheco Paladini
Coordenador

Banca Examinadora:

Prof.^a Mirian Buss Gonçalves, Dr.
Orientadora (UFSC)

Prof. Antonio Galvão Novaes, Dr.
(UFSC)

Reginaldo Porath, Dr. (DER)

À Deus.

À minha mãe e amiga Dagmar
pelo amor e paciência nos
momentos dedicados a
realização deste
trabalho.

Ao meu pai Levy, por todo apoio
e incentivo dado em minha vida
estudantil, e a oportunidade
de me dedicar exclusiva-
mente aos estudos
(*In memoriam*).

Ao meu namorado Marcelo,
pelo amor e carinho
transmitidos.

Ao meu irmão Fernando,
pela alegria diária de
sua presença.

AGRADECIMENTOS

À Prof.^a Dr. Mirian Buss Gonçalves pela presteza, paciência e clareza durante a orientação e confiança em meu trabalho.

Ao Prof. Dr. Antonio Galvão Novaes pelo apoio, dedicação e tempo despendido na discussão de vários tópicos deste trabalho.

À amiga Nadja Glheuca Dutra, pelo incentivo, apoio e sugestões apresentadas ao presente trabalho.

Ao DER-SC pelo fornecimento de dados fundamentais na aplicação prática do trabalho, em especial aos engenheiros Adalton de Oliveira, Edelino Meurer Filho, Nilton Valle e Reginaldo Porath.

À DERSA-SP, pelo apoio e fornecimento de informações essenciais em relação à priorização de estradas.

À CAPES, pelo suporte financeiro, fundamental para a realização deste trabalho.

À todos os amigos conquistados durante o curso, e em especial aqueles dos seminários.

Aos meus amigos pela paciência e presença constante.

Aos professores, colegas e funcionários do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	v
RESUMO	x
ABSTRACT	xi
LISTA DE FIGURAS, TABELAS E GRÁFICOS	xii
CAPÍTULO I	
1. INTRODUÇÃO	1
1.1 JUSTIFICATIVA.....	1
1.2 OBJETIVOS DO TRABALHO	2
1.3 METODOLOGIA DO TRABALHO	3
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO	4
CAPÍTULO II	
2. A TOMADA DE DECISÃO	5
2.1 INTRODUÇÃO	5
2.2 O PROCESSO DE TOMADA DE DECISÃO	8
2.3 A MODELAGEM NO PROCESSO DECISÓRIO	9
2.4 A DECISÃO COMO FRUTO DA RACIONALIDADE	11
2.5 O SISTEMA DO PROCESSO DE TOMADA DE DECISÃO	19
2.6 PRINCIPAIS PROCEDIMENTOS DE TOMADA DE DECISÃO.....	22
2.6.1 Plano mestre	22
2.6.2 Abordagem do ator racional	23
2.6.3 Abordagem incrementalista	23
2.7 A TOMADA DE DECISÃO EM GRUPO	24

CAPÍTULO III

3.	A METODOLOGIA MULTICRITÉRIO DE APOIO À DECISÃO.....	28
3.1	INTRODUÇÃO.....	28
3.2	A TOMADA DE DECISÃO TRADICIONAL POR ÚNICO CRITÉRIO .	31
3.3	A TOMADA DE DECISÃO COM MÚLTIPLOS CRITÉRIOS	33
3.4	ALGUMAS METODOLOGIAS DE DECISÃO MULTICRITERIAL ...	36
3.5	A METODOLOGIA MULTICRITÉRIO NO DESENVOLVIMENTO DE INFRA-ESTRUTURA EM TRANSPORTES.....	38

CAPÍTULO IV

4.	A METODOLOGIA ANALYTIC HIERARCHY PROCESS (AHP) ...	43
4.1	INTRODUÇÃO.....	43
4.2	O ANALYTIC HIERARCHY PROCESS (AHP).....	44
4.3	O PRINCÍPIO DA DECOMPOSIÇÃO (ESTRUTURAÇÃO).....	49
4.3.1	Hierarquia	54
4.3.2	Como estruturar uma hierarquia	59
4.3.3	Estruturação de uma hierarquia em planejamentos Forward e Backward.....	66
4.4	O PRINCÍPIO DOS JULGAMENTOS COMPARATIVOS (AVALIAÇÃO)	68
4.4.1	Por que usar uma escala 1-9?	71
4.4.2	Os julgamentos.....	73
4.4.3	A matriz de julgamentos e a análise de consistência.....	76
4.5	O PRINCÍPIO DA SÍNTESE DAS PRIORIDADES	82

CAPÍTULO V

5. APLICAÇÃO PRÁTICA

5.1	INTRODUÇÃO.....	85
5.2	ESTRUTURAÇÃO E HIERARQUIZAÇÃO.....	91
5.3	ANÁLISE DAS ALTERNATIVAS.....	102
5.3.1	Investimentos	103
5.3.2	Custos de Tempo de Viagem.....	107
5.3.3	Custos Operacionais dos Veículos	108
5.3.4	Custos de Acidentes	108

5.3.5 Acessibilidade	109
5.3.6 Expansão do Setor primário	109
5.3.7 Expansão do Setor Secundário	110
5.3.8 Segurança para a comunidade local	111
5.3.9 Segurança para os usuários da rodovia	113
5.3.10 Capacidade da Via	115
5.3.11 Conforto do Usuário	115
5.3.12 Estabilidade Habitacional	116
5.3.13 Qualidade Sonora	116
5.3.14 Qualidade da Água	117
5.3.15 Qualidade do Ar	118
5.3.16 Preservação de parques e Áreas de Lazer	119
5.3.17 Preservação de Áreas Agricultáveis	119
5.3.18 Preservação de Áreas de Interesse Histórico-Cultural	120
5.3.19 Preservação Visual	122
5.3.20 Preservação da Flora	123
5.3.21 Preservação da Fauna	125
5.4 DETERMINAÇÃO DOS PESOS DOS CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO ..	126
5.5 A FASE DE ANÁLISE DAS ALTERNATIVAS	136

CAPÍTULO VI

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES PARA FUTUROS TRABALHOS	146
---	-----

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	150
---	-----

BIBLIOGRAFIA	152
---------------------------	-----

ANEXOS

ANEXO A – SOFTWARE EXPERT CHOICE: RESULTADO DE PRIORIZAÇÃO DO GRUPO EM RELAÇÃO AOS CRITÉRIOS DA APLICAÇÃO PRÁTICA

ANEXO B – SOFTWARE EXPERT CHOICE: ESCALA DE INTENSIDADES DOS CRITÉRIOS

ANEXO C – SOFTWARE EXPERT CHOICE: VALORES DOS
IMPACTOS

ANEXO D – SOFTWARE EXPERT CHOICE: PONTUAÇÃO E
PRIORIZAÇÃO FINAL DAS ALTERNATIVAS

RESUMO

O trabalho apresenta uma aplicação da Metodologia Multicritério de apoio à decisão Analytic Hierarchy Process (AHP) na priorização de traçado de pavimentação de uma estrada.

Uma metodologia multicritério de apoio à decisão caracteriza-se pela capacidade de incorporar, no modelo de decisão, critérios quantitativa e qualitativamente mensuráveis.

A metodologia AHP baseia-se em dois princípios fundamentais: estruturação e avaliação. Estes princípios auxiliam o decisor na análise e sistematização das informações.

No AHP o problema de decisão é analisado através da construção de níveis hierárquicos e a comparação dos níveis aos pares.

O trabalho descreve, detalhadamente, toda a teoria relacionada, assim como, o estudo de caso realizado. Procurando mostrar, objetivamente, como a metodologia pode ser utilizada.

Na aplicação, utiliza-se o software Expert Choice, onde o AHP está implementado. O software funciona de maneira a estruturar rapidamente o problema de decisão, organizando os dados relacionados ao modelo. O mesmo software é utilizado para realizar análises de sensibilidade, apresentando, ao final, a melhor alternativa de traçado de pavimentação, de um caso específico.

É possível que o uso do AHP clarifique e agilize o processo de tomada de decisão de traçado de pavimentação de uma estrada, permitindo que outros critérios, principalmente de caráter ambiental e social, possam ser incorporados na análise.

ABSTRACT

The work presents a Multicriterion Methodology application of support to the Analytic Hierarchy Process (AHP) in the prioritization of the road surface drawing. A multicriterion methodology of support to decision is featured by the capacity of incorporating, in the decision model, quantitative and qualitative measurable criteria. The AHP methodology is based in two main principles: the evaluation and structuration . These principles help the decision makers in the information analysis and systematization. At the AHP, the problem of decision is analyzed through the hierarchical levels of construction and in the comparison to levels in pairs. The work describes detailly, all the related theory as well as the performed case study trying to show objectively how the methodology can be used. In the application, the software Expert Choice is used where the AHP is implemented. The software works in such a way that allows a fast structuring of the decision making problem, organizing the related data to the model. The same software is used to perform analysis of sensitiveness presenting at the end the best alternative of road surface drawing. It is possible that the AHP use clarifies and fastens the decision making process of the drawn surfacing of a road allowing that other criteria, specially the environmental and social ones could be incorporated in the analysis.

LISTA DE FIGURAS, TABELAS e FOTOS

Figura 4.1 – Fluxograma Geral do AHP	48
Figura 4.2 – Estrutura de uma Hierarquia Simples.....	55
Figura 4.3 – Decomposição de um Problema através de uma Hierarquia Simples	56
Figura 4.4 – Estrutura de uma Hierarquia de Quatro Níveis ..	57
Figura 4.5 – Resumo da Inter-relação entre Componentes na Construção Hierárquica	64
Figura 5.1 – Localização em Santa Catarina da situação objeto de estudo.....	86
Figura 5.2 – Localização do trecho objeto de estudo... ..	87
Figura 5.3 – Árvore hierárquica de Priorização de Traçado de Pavimentação de Estrada... ..	95
Figura 5.4 – Esquema de análise das alternativas.....	102
Figura 5.6 – Critérios de Primeiro e Segundo Níveis da hierarquia Inseridos no Software	128
Figura 5.7 – Critério Economia, critérios de segundo e terceiro níveis	129
Figura 5.8 – Critério Trânsito, critérios de segundo e terceiro níveis.....	130
Figura 5.9 –Votação Verbal entre dois Critérios – Decisor: 01.	131
Figura 5.10 – Votação Verbal entre dois Critérios – Decisor: 02	132
Figura 5.11 – Votação do Grupo de Decisores	133
Figura 5.12 – Árvore Hierárquica com seus referidos Pesos ..	135
Figura 5.13 – Priorização Final Das Alternativas Pavimentar E Não Pavimentar	145

Tabela 4.1– Escala de Julgamentos do AHP	70
Tabela 4.2– Índices Randômicos	81
Tabela 5.1 – Principais Dados da Rodovia Existente... ..	88
Tabela 5.2 – Principais Dados da Rodovia Situação Futura	89
Tabela 5.3 – Considerações na Fase de Estruturação	92
Tabela 5.4 – Investimentos: Alternativa 1 e Alternativa 2.....	104
Tabela 5.5 – Investimentos: Alternativa 3 e Alternativa 4.....	104
Tabela 5.6 – Investimentos: Alternativa 5 e Alternativa 6	104
Tabela 5.7 – Investimentos: Alternativa 7	105
Tabela 5.8 - Investimentos: Alternativa 8	106
Tabela 5.9 - Investimentos: Alternativa 9.....	107
Tabela 5.10 – Custos de Tempo de Viagem para Cada Alternativa	108
Tabela 5.11 – Custos Operacionais dos Veículos para Cada Alternativa	108
Tabela 5.12 – Acessibilidade para Cada Alternativa	109
Tabela 5.13 – Expansão do Setor Primário para Cada Alternativa	110
Tabela 5.14 – Expansão do Setor Secundário para Cada Alternativa	111
Tabela 5.15 – Segurança para a Comunidade Local para cada Alternativa	112
Tabela 5.16 – Segurança para os Usuários da Rodovia para cada Alternativa	114
Tabela 5.17 – Capacidade da via para cada alternativa	115
Tabela 5.18 – Conforto do Usuário para Cada Alternativa.....	116
Tabela 5.19 – Número de Desapropriações em cada Alternativa	116
Tabela 5.20 – Qualidade Sonora para Cada Alternativa	117
Tabela 5.21 – Número de Nascentes Atingidas pelo traçado em Cada Alternativa	118

Tabela 5.22 – Qualidade do Ar para cada Alternativa	118
Tabela 5.23 – Preservação de parques e Áreas de lazer	119
Tabela 5.24 – Perda de Áreas Agricultáveis ao Longo do Trecho	120
Tabela 5.25 – Preservação de Áreas de Interesse Histórico-Cultural	121
Tabela 5.26 – Preservação Visual	122
Tabela 5.27 – Perda de Capoeirões	124
Tabela 5.28 – Perda de Capoeiras	124
Tabela 5.29 – Perda de Capoeirinhas	124
Tabela 5.30 Preservação da Fauna	126
Tabela 5.31– Descrição dos Dados Inseridos no Software Expert Choice	127
Tabela 5.32 – Escala de Intensidades dos Critérios de decisão...	136
Tabela 5.33 – Valores dos Impactos mensurados	137
Tabela 5.34 – Priorização Final e Contribuição por Critério das Alternativas 1 e 2	139
Tabela 5.35 - Priorização Final e Contribuição por Critério das Alternativas 3 e 4	140
Tabela 5.36 - Priorização Final e Contribuição por Critério das Alternativas 5 e 6	141
Tabela 5.37 - Priorização Final e Contribuição por Critério das Alternativas 7, 8 e 9	142
Tabela 5.38 – Classificação das Alternativas : Não Pavimentar e Pavimentar pelo melhor Traçado	144
Foto 5.1 – Alternativa 7Cortando Áreas Residenciais	112
Foto 5.2 – Alternativa 7Cortando a Comunidade e uma igreja .	113
Foto 5.3 – Elementos Geométricos em Condições Desfavoráveis à Segurança da Alternativa 3	114

Foto 5.4 – Áreas Agricultáveis a Serem Atingidas ao longo do traçado	120
Foto 5.5 – Casa em Estilo Germânico que será preservada	121
Foto 5.6 – Impacto Visual negativo ao Longo do traçado	122
Foto 5.7 - Impacto Visual negativo ao Longo do traçado	123
Foto 5.8 – Flora Típica da região	125
Foto 5.9 - Flora Típica da região	125

CAPÍTULO I

1. INTRODUÇÃO

1.1 JUSTIFICATIVA

A questão dos transportes vem sendo, nos últimos anos, exaustivamente discutida em consequência de que o transporte responde a uma demanda de outras atividades básicas como estudo, trabalho, lazer, escoamento da produção agrícola e industrial etc.

Verifica-se a necessidade de políticas públicas transformadoras, em relação ao setor, em que o investimento público se converta ao máximo em benefícios sociais.

As estradas, de maneira geral, funcionam como vias de escoamento do sistema rodoviário como um todo, sendo de fundamental importância para a acessibilidade a serviços de educação, saúde, escoamento da produção agrícola etc. Constata-se, na prática, a necessidade de pavimentação ou recuperação de muitas destas vias.

A pavimentação de uma estrada pode contribuir para o desenvolvimento social e econômico de uma determinada região. No entanto, para que este desenvolvimento seja sustentável, é necessário que alguns aspectos, quantitativos e qualitativos, sejam avaliados.

A escassez de recursos, principalmente nos países em desenvolvimento, é uma realidade. Neste sentido, não é possível atender a todas as necessidades de pavimentação. Assim, é fundamental que se defina algumas prioridades para estas necessidades de pavimentação ou recuperação de estradas.

A questão essencial é identificar que critérios devem ser levados em consideração na priorização destas necessidades, de forma a proporcionar os maiores benefícios sociais e o melhor investimento dos recursos públicos.

Deste modo, tem-se um contexto de tomada de decisão este, principalmente no que se refere ao desenvolvimento do setor de transportes e no caso específico de priorização de estradas, é complicado pela necessidade de considerar-se uma gama de assuntos.

Têm-se aspectos relacionados a questões ambientais, segurança, qualidade de vida, desenvolvimento sustentável, impactos sociais e económicos etc.

A fim de refletir isto, o tomador de decisão tem de lidar com múltiplos objetivos, integrando os aspectos quantitativos e qualitativos do problema de decisão em questão.

Desta forma, a utilização de uma metodologia multicritério de apoio à decisão tem demonstrado ser uma ferramenta eficaz na priorização de ações dos processos de decisão que envolvem aspectos neste sentido.

O método Analytic hierarchy Process (AHP) tem sido muito utilizado para definir prioridades nos processos decisórios relacionados ao setor de transportes.

Muitos estudos tem usado o AHP como fundamentação metodológica de seus trabalhos, sendo o método considerado muito eficiente.

1.2 OBJETIVOS DO TRABALHO

Este trabalho tem como objetivo geral estudar a metodologia multicritério de apoio à decisão Analytic Hierarchy Process (AHP).

No entanto, o trabalho visa especificar:

- A Revisão dos aspectos mais relevantes relacionados à tomada de decisão;
- Apresentar uma revisão teórica acerca da metodologia multicritério de apoio à decisão;
- Apresentar uma revisão teórica em relação a metodologia multicritério de apoio à decisão, Analytic Hierarchy Process (AHP) ;
- Enfocar a importância do decisor trabalhar tanto com critérios quantitativos como qualitativos;
- Aplicar a metodologia AHP, utilizando o *software* Expert Choice, em um estudo de caso de priorização de traçado de pavimentação de uma estrada.

1.3 METODOLOGIA DO TRABALHO

O trabalho será desenvolvido de acordo com as seguintes etapas:

- I) Levantamento bibliográfico sobre os aspectos da tomada de decisão.
- II) Levantamento bibliográfico em relação a metodologia multicritério de apoio à decisão e especificamente a metodologia AHP.
- III) Detalhamento de forma objetiva das metodologias, seguido da aplicação da metodologia AHP em um estudo de caso de priorização de traçado de pavimentação de uma estrada .
- IV) Conclusões e recomendações obtidas a partir do desenvolvimento do trabalho.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está estruturado em seis capítulos sinteticamente descritos a seguir:

- O presente capítulo traz as considerações preliminares ao estudo, a introdução, objetivos, justificativas do trabalho e as principais características da pesquisa;
- O segundo capítulo apresenta os principais aspectos relacionados ao processo de tomada de decisão, e as suas perspectivas segundo alguns pesquisadores da área;
- Os capítulos III e IV apresentam a fundamentação teórica das metodologias multicritério de apoio à decisão e da metodologia AHP;
- O quinto capítulo apresenta uma aplicação da metodologia AHP em um problema de traçado de pavimentação de uma estrada;
- Por fim, no capítulo VI são relatadas as conclusões obtidas no decorrer do trabalho, observações em relação a metodologia AHP e as recomendações para futuras pesquisas.

CAPÍTULO II

2. A TOMADA DE DECISÃO

2.1 INTRODUÇÃO

Desde o princípio, o homem sempre teve que tomar decisões, algumas sem muita importância, outras merecedoras de análise mais aprofundada antes da definição de que ação deveria ser tomada. Os problemas de tomada de decisão são constantes no dia-a-dia, a todo momento o homem está sendo colocado em uma posição onde é necessário optar, examinar, investigar, decidir, escolher, tomar uma postura frente as poucas ou muitas opções que lhe são fornecidas.

Atualmente uma nova forma de pensar, em relação a tomada de decisão, está emergindo em nível global. Este novo pensamento baseia-se em reações e valores surgidos recentemente na sociedade mundial. Uma nova cultura surge, trazendo consigo um novo modelo de vida, uma nova compreensão política, a consciência da necessidade de um novo sistema de valores, acompanhado de uma nova forma de pensamento. Hoje, aos tomadores de decisão, é dado o desafio de pensar globalmente e usar novos instrumentos de decisão.

Um processo de decisão se inicia pela identificação das necessidades, do que é possível fazer, da informação que está disponível. Espera-se que estes elementos ordenados numa estrutura lógica, resultem na melhor decisão.

Segundo Rabbani, J. R., (1996), todas as atividades de planejamento envolvem a tomada de decisão de uma ou outra forma. As

decisões em projetos podem abranger a coleta de dados, a identificação de alternativas, negociações, avaliação de alternativas de ação etc. Ao longo de cada um desses processos, os planejadores defrontam-se com decisões.

O tomador de decisões, quer esteja motivado pela necessidade de prever ou controlar, geralmente enfrenta um complexo sistema de componentes correlacionados, como recursos, resultados ou objetivos desejados, pessoas ou grupos de pessoas etc.; ele está interessado na análise desse sistema. Presumivelmente, quanto melhor ele entender essa complexidade, melhor será sua decisão.
(Saaty, 1991).

De acordo com Pereira e Fonseca (1997), a decisão é um processo sistêmico, paradoxal e contextual, não podendo ser analisada separadamente das circunstâncias que a envolvem. O conhecimento das características, dos paradoxos e desafios da sociedade é essencial à compreensão dos processos decisórios.

Dinsamore (1990), citado por Rabbani, J. R., (1996), salienta que a decisão é um julgamento, uma escolha feita entre alternativas incluindo todos os “o que”, “quando”, “quem”, “por que” e “como”, que aparecem nos projetos. Com o intuito de evitar problemas futuros, os planejamentos devem ser baseados em decisões cuidadosamente formuladas.

Assim sendo, tomar decisões faz parte do cotidiano da vida e está presente em todos os seus aspectos, indo desde tópicos pessoais até decisões mais abrangentes como no planejamento de grandes projetos. As decisões têm, freqüentemente, um impacto muito além do resultado imediato. Na realidade, as decisões tomadas hoje, se direcionam muito mais ao futuro, que é fruto de idealizações nas quais as decisões são baseadas.

A ciência de tomada de decisão tem evoluído desde os anos 40. Isso se deve, principalmente, ao crescente estudo dos problemas aplicados, ao desenvolvimento de novas técnicas e procedimentos matemáticos.

Passou-se a considerar, no desenvolvimento das técnicas, outros aspectos da realidade, como variáveis relacionadas à questões ambientais, fatores sociais etc.

De acordo com Schmidt (1995), 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.

O desenvolvimento de novas técnicas se fez necessário para que fossem melhor interpretados, com maior precisão os novos problemas e questões do mundo moderno. Estas novas técnicas de tomada de decisão estão em crescente e rápida evolução nos últimos anos.

Alguns teóricos acreditam que as decisões devem ser tomadas segundo um plano seqüencial. Outros defendem uma abordagem menos estruturada, porém igualmente disciplinada, que exige a manutenção de um debate e reavaliação do contexto das decisões. Conforme Rabbani, J. R., (1996), o processo de tomada de decisão, na maioria das decisões, envolve os seguintes passos:

1. Formulação do problema.
2. Estruturação do problema a fim de relacionar suas partes na forma de um modelo.
3. Tirar uma solução do modelo.
4. Testar o modelo e a solução.
5. Estabelecer controles sobre a solução.
6. Implementar a solução.

2.2 O PROCESSO DE TOMADA DE DECISÃO

Decidir é escolher entre alternativas. Com base nesta idéia, pode-se dizer que o processo de tomada de decisão é uma forma de produzir diferentes hipóteses em relação ao tema de interesse, em busca da escolha ou ordenação das alternativas em questão.

O conceito base dos diversos modelos de tomada de decisão é o da racionalidade. Segundo este conceito, as organizações, os indivíduos seguem um comportamento de escolha entre alternativas, que está fundamentado em critérios objetivos de julgamento, cujo alvo principal é alcançar um nível pré-estabelecido de aspirações.

Simon (1965), descreve os principais passos do modelo racional de tomada de decisão:

Primeiro Passo: Decisão de Decidir - Corresponde a assumir um comportamento que leve a uma decisão, ao contrário de esperar que as coisas aconteçam.

Na prática, geralmente inicia-se o processo decisório somente quando alguma coisa não está de acordo com o desejado, quando algum problema surge, ou seja, reconhece-se à necessidade de mudanças tardiamente.

Segundo Passo: Definição do problema - Esta etapa consiste em definir os objetivos aos quais a decisão deve chegar, ou seja, formular o problema com uma necessidade de chegar a uma nova situação. Simon chama esta fase de “Inteligência”.

Terceiro Passo: Busca de alternativas - Significa estabelecer as possíveis soluções do problema, ou seja, as alternativas, determinando um critério de avaliação para elas. Simon chama esta etapa de “Elaboração”.

Quarto Passo: Seleção de alternativas - Nesta etapa analisa-se as alternativas formuladas e toma-se a decisão propriamente dita. Através da comparação das alternativas em relação a determinados critérios, é feita, então, a ordenação das possíveis soluções, ou a seleção de uma delas.

Roy e Vincke (1959) *apud* Casarotto (1995), descrevem que, no geral, um problema de decisão é um problema no qual são considerados um conjunto de ações em potencial, entre as quais deve-se:

- a. escolher uma ação considerada como a melhor,
- b. selecionar um subconjunto considerado como bom, ou
- c. ordenar as ações da melhor até a pior.

2.3 A MODELAGEM NO PROCESSO DECISÓRIO

A maior parte das decisões tomadas no dia-a-dia, não requerem a estruturação do problema na forma de um modelo, no entanto, existem decisões mais complexas, envolvendo muitas alternativas e objetivos diferenciados, em que um modelo é de grande apoio.

Um modelo é uma representação simplificada da realidade, mediante a qual procuramos identificar e destacar os elementos desta realidade que sejam os mais importantes para a decisão. No processo de modelagem, troca-se a riqueza e abrangência da realidade pelo poder de análise e a capacidade de experimentação.

(Ehrlich (a), 1996).

Modelar uma decisão é uma forma de organizar e estruturar uma situação de tomada de decisão. Um modelo é uma representação de um objetivo que se torna mais claro através de um processo de modelagem. A estruturação de um problema de decisão, na forma de um modelo, permite que se tenha uma espécie de “arquivos de decisões”, os quais podem ser reavaliados em futuras decisões.

Ehrlich (a) (1996), destaca que um modelo apresenta os seguintes elementos:

- variáveis de controle ou de decisão – sobre as quais pode-se atuar para que os objetivos sejam atingidos;
- variáveis de estado ou de natureza – sobre as quais não se têm controle, mas que afetam as conseqüências ou resultados de uma decisão;
- estrutura do modelo – correspondem as equações que “amarram” as relações no modelo;
- parâmetros – valores numéricos que entram nas equações;
- critérios de decisão ou preferências;
- objetivos ou metas.

O mesmo autor salienta que a utilização de modelos para apoio às decisões traz muitos benefícios, destacando-se:

- identificar os elementos relevantes para a decisão e descartar os irrelevantes;
- educar a intuição;
- comunicar e discutir a estrutura e os parâmetros;
- analisar situações complexas;
- analisar muitas alternativas;
- comunicar resultados;
- analisar a estabilidade dos resultados.

No contexto real seria muito difícil fazer experimentações, analisar cenários etc. Estas verificações são possíveis através de modelos e essenciais na obtenção de subsídios para a tomada de decisão.

2.4 A DECISÃO COMO FRUTO DA RACIONALIDADE

Nesta seção será vista a essência de algumas características da racionalidade humana, que têm importância fundamental na compreensão do processo decisório em sua totalidade.

A importância do contexto da racionalidade no processo de tomada de decisão, está relacionada ao fato de que o processo decisório é abordado de uma nova forma pela ciência, sendo a decisão um caráter essencialmente humano porque resulta do uso da racionalidade.

Segundo Pereira e Fonseca (1997), a decisão passou a ser considerada como fruto da racionalidade, a ponto de só serem consideradas capazes de decidir as pessoas dotadas do “uso da razão”. A evidência de que somente o ser humano é capaz de fazer escolhas fez com que, na abordagem científica, a decisão fosse considerada como um processo lógico, e a capacidade decisória, um atributo daqueles que detivessem a plena capacidade de usar a sua inteligência e racionalidade.

A racionalidade pode ser definida como a capacidade que o ser humano tem de avaliar, julgar, ponderar idéias, estabelecer relações lógicas, habilitando o homem a tomar decisões, escolher entre alternativas, avaliar os riscos de suas escolhas, executando escolhas conscientes e determinadas.

March e Simon (1958), comparam a racionalidade do “homem administrativo”, com o “clássico homem da teoria econômica”, e com o “homem racional da teoria de decisão estatística”. Salienta que o homem racional da economia e da teoria de decisão estatística faz escolhas “ótimas”, num ambiente minuciosamente especificado e nitidamente definido:

- 1) Quando precisa tomar uma decisão, já tem diante de si todo o conjunto de alternativas, entre as quais fará sua escolha. Estas

alternativas são simplesmente um “dado”; a teoria não explica como foi obtido.

- 2) A cada alternativa associa-se um conjunto de conseqüências – os acontecimentos que sobreviverão se uma determinada alternativa for escolhida. O autor observa três categorias de teorias relacionadas às conseqüências de cada alternativa: a) Certeza: teorias em que se pressupõe que quem decide possui conhecimento completo e exato das conseqüências de cada alternativa; b) risco: teorias que pressupõem conhecimento exato da distribuição de probabilidades das conseqüências de cada alternativa; c) incerteza: teorias cujo pressuposto é que as conseqüências de cada alternativa se enquadram num subconjunto de todas as conseqüências possíveis, não possuindo, porém, o tomador de decisão, elementos para prever com probabilidades definitivas os provenientes de certas conseqüências específicas.
- 3) Inicialmente, o indivíduo que vai tomar uma decisão estabelece uma função utilidade, de acordo com a qual as conseqüências são classificadas em uma seqüência preferencial.
- 4) O tomador de decisão escolhe a alternativa que conduz ao conjunto de conseqüências de sua preferência. Havendo certeza, não há ambigüidade na escolha. Se houver risco, a racionalidade, geralmente consistirá na escolha da alternativa de que se espera a maior utilidade.

O modelo de homem racional que foi exposto apresenta, conforme observado por March e Simon (1958), algumas dificuldades. Somente no caso de “certeza” é que uma noção clara de racionalidade poderia ser obtida; o modelo pressupõe que todas as alternativas de escolhas sejam “dados”; todas as conseqüências associadas a cada uma das alternativas sejam conhecidas; que o homem racional possua uma

completa classificação por ordem de utilidade de todos os possíveis conjuntos de conseqüências.

Na seqüência, o autor procura demonstrar que não existe decisão perfeita pois uma avaliação de todas as alternativas e suas respectivas conseqüências, seria impossível, já que o ser humano possui limites cognitivos.

Simon (1965) apresenta uma proposta para melhor interpretação do termo racionalidade. Ele argumenta que a palavra racionalidade deva ser acompanhada de um adjetivo que, a melhor maneira, a caracterize. Tem-se então:

- racionalidade objetiva – Se o comportamento do decisor, em relação a determinado fato, leva em conta a maximização de valores dados. Assim, o comportamento do decisor está baseado em dados mensuráveis e eficazes no alcance dos objetivos propostos.
- racionalidade subjetiva – Se ele maximiza a obtenção relativa ao seu real conhecimento do objeto. Assim, o decisor está baseado em informações e conhecimentos reais, usando valores e experiências pessoais na decisão.
- racionalidade consciente – Quando os passos, do início ao fim da decisão, estão baseados em um processo consciente.
- racionalidade deliberada – Quando os passos, do início ao fim da decisão, são deliberados (por um indivíduo ou uma organização).
- racionalidade organizacional – Se é orientada para as metas ou objetivos da organização.

- racionalidade pessoal – Se é orientada para os objetivos de um indivíduo.

O autor conclui que nesta questão, o termo “racionalidade” estará sempre sendo qualificado por um desses adjetivos, ao menos que o significado esteja claro dentro do contexto.

A racionalidade, então, é limitada e depende do contexto na qual está inserida, sendo que o comportamento, mesmo quando tido de forma racional, pode se apresentar imprevisível ou não ser o ideal.

Os seres humanos se comportam de forma “racional” somente em relação a um conjunto de “dados”, que define a situação que é apresentada ao agente racional. Os “dados” estão relacionados a informação de determinada questão, o conhecimento relativo, a distribuição de probabilidades de eventos futuros, o conhecimento das alternativas etc.

Na opinião de Simon, não existe uma decisão perfeita pois a capacidade de percepção humana é limitada. Existe sim, uma escolha mais adequada em um determinado momento e contexto, sendo que a racionalidade consiste então em escolher a opção mais satisfatória e concentrar-se nela.

Após receber o Prêmio Nobel de Economia, Simon preocupou-se em tornar a economia mais utilizável e importante no contexto real do mundo. Insatisfeito com abordagens tradicionais de racionalidade, propôs a idéia de racionalidade limitada.

Segundo March e Simon (1958), cada indivíduo só pode atender a um número limitado de assuntos a um só tempo. Existem situações que se apresentam excessivamente complexas para serem tratadas nos mínimos detalhes. O comportamento racional compreende a substituição da realidade complexa por um modelo de realidade suficientemente simples para ser tratado através de processos de solução de problemas.

O conceito de racionalidade limitada está baseado na idéia de que a definição da situação, em qualquer momento, tem que ser suficientemente simples e clara para ser apreciada pela mente humana. Esta idéia fundamenta-se em observações das formas em que as decisões são tomadas na prática. Principalmente, em relação a decisões que envolvem um nível considerável de incertezas, supõe-se, antecipadamente, que a racionalidade humana é limitada.

Em Simon (1976) *apud* Pidd (1998), tem-se a noção de racionalidade limitada, onde se assume, como ponto inicial, um número de suposições em relação a situações nas quais as decisões podem ter que ser tomadas. Assim, supõe-se que:

- 1) Em muitas situações complexas, existe incerteza e riscos consideráveis sobre as conseqüências de escolhas que deveriam ser feitas. Existe uma série de razões para isto. Em primeiro lugar, as informações sobre estas conseqüências podem simplesmente não estar disponíveis e podem ter que ser previstas ou modeladas de uma maneira ou outra. Esta questão é muito importante, principalmente no que se refere a situações que incluem novidades consideráveis. Em segundo lugar, as ações de outros atores podem influenciar as conseqüências de qualquer ação.
- 2) Na maioria das situações é impossível assumir que o responsável pela decisão tem informações completas sobre todas as possíveis opções. Isto, raramente ocorre. Em determinada situação, alguém que não é responsável pela decisão pode ter outras informações adicionais, ou ter uma forma de modificar a situação de maneira a criar mais opções, que o responsável pela decisão não tem.
- 3) A complexidade de muitos problemas de decisão pode estar no fato de que o autor ou o tomador de decisão é incapaz de

calcular o melhor curso de ação, mesmo no caso de todas as opções serem conhecidas. Isto é devido as limitações computacionais do cérebro humano. Esta limitação atualmente, devido as análises computacionais, pode ser vencida, diferentemente de quando Simon propôs a idéia de racionalidade limitada.

Devido a estes problemas e limitações, Simon (1976) *apud* Pidd (1998), propõe que na prática a racionalidade é verdadeiramente limitada. Segundo o autor, a tomada de decisão baseada na idéia da racionalidade limitada engloba dois aspectos:

- 1) Busca – Nesta racionalidade limitada, um componente essencial da tomada de decisão racional é uma busca sistemática por opções que são possíveis. Isto contrasta com a abordagem clássica, que supõe que um conjunto completo de opções possíveis é conhecido inicialmente. Uma implicação da inclusão da busca nesta visão de escolha racional é que o valor dos custos envolvidos em fazer tal busca pode ser observado. Se a busca é seqüencial, ou seja, uma opção na seqüência de outra, pode-se chegar a um ponto em que o custo marginal da busca torna-se muito elevado. Neste contexto, ninguém conduz uma busca exaustivamente por um longo período, pode-se simplesmente ter escolhas satisfatórias.

A busca de opções também pode implicar em não se aceitar apenas o conjunto de opções que está disponível, apresentado no início da tomada de decisão. Na tomada de decisões pode-se usar de subterfúgios, tentando ganhar tempo na esperança de que possam surgir melhores opções de escolha. Estes tipos de comportamentos fazem parte de uma boa tomada de decisão, sendo considerados altamente racionais.

Uma outra implicação é que a tomada de decisão e a resolução de problemas podem ser considerados como processos criativos, e não

simplesmente mecanicistas. Pode-se afirmar que a interação com outras pessoas, as trocas sociais contribuem neste processo. Em muitos casos, é através destas trocas que se tenta negociar acordos sobre o que será uma solução satisfatória e aceitável no contexto em questão.

2) Satisfação – Uma outra característica melhor conhecida da racionalidade limitada é a idéia de satisfação. Na abordagem clássica é suposto que um tomador de decisão tentará maximizar a utilidade esperada. Em vez disso, uma racionalidade limitada supõe que as pessoas buscarão opções que aparentemente sejam boas o suficiente. Neste sentido, as pessoas têm um nível pré-estabelecido de aspirações que definem soluções e opções que não são apenas possíveis, mas são aceitáveis.

Assim, tem-se um conjunto incompleto de opções no qual busca-se a otimização segundo os níveis estabelecidos anteriormente.

Simon (1976) *apud* Pidd (1998) argumenta que a satisfação está relacionada diretamente com a busca. Ou seja, a pessoa irá cessar a busca assim que a primeira alternativa a satisfazer.

É importante ressaltar aqui, que esta busca pode mudar com o tempo, ou seja, à medida que novas experiências surgirem, novas trocas de informações forem feitas, novas observações e interações com o mundo existirem, novas alternativas serão obtidas e as visões tendem a se modificar. Assim, o conceito de racionalidade limitada vê a escolha como uma forma seqüencial, no entanto esta se baseia não somente na otimização mas na idéia de satisfação.

Simon, ao desenvolver a noção de racionalidade limitada apresenta aspectos alternativos de racionalidade que ele chama de racionalidade substantiva e racionalidade procedural. Pidd (1998) descreve estas duas visões como segue:

- 1) Racionalidade substantiva – Dominante na economia clássica, corresponde ao dogma básico da tomada de decisão clássica racional. O comportamento é considerado substantivamente racional quando é orientado para as metas dentro de limites impostos por algumas condições e restrições. Neste contexto, uma escolha substantivamente racional é aquela que é a melhor maneira de atingir uma dada meta.

- 2) Racionalidade procedural – Não está muito preocupada com o resultado de uma deliberação, mas com a natureza do processo de deliberação. O comportamento é dito como proceduralmente racional quando é resultado de alguma deliberação apropriada. Assim, o foco está concentrado no processo de tomada de decisão, na maneira como ele é feito ou como deveria ser feito.

Estas duas visões também são descritas por outros autores que, na essência, tem a mesma idéia, mas estão enfocadas de forma diferenciada. Assim, Guerreiro Ramos *apud* Pereira e Fonseca (1997) propõe dois adjetivos para racionalidade, discutindo suas implicações em termos da tomada de decisões relacionadas ao mundo contemporâneo. Tem-se então:

- 1) Racionalidade substantiva – A racionalidade em seu sentido clássico ou substantivo, não tem a ver com as características de uma época ou de uma sociedade específica. A razão é uma dimensão humana que não pode ser considerada como fenômeno histórico ou social. A racionalidade substantiva assume uma dicotomia entre razão e sociedade.

- 2) Racionalidade funcional (ou procedural) – Contrariamente ao pensamento clássico, ela não considera a razão como um componente essencial da natureza humana, mas uma qualidade que o homem adquire através do esforço próprio e que o capacita para avaliar alternativas e conseqüências.

Na visão clássica de racionalidade existe uma distinção clara entre racionalidade substantiva e procedural (funcional), no entanto muitos autores modernos somente conceituam um único tipo de racionalidade: a chamada racionalidade funcional.

A racionalidade passou, no mundo atual, a ser descrita de outras formas diferentemente das visões clássicas predominantes anteriormente. Atualmente, alguns autores descrevem um novo conceito de racionalidade, chamado de dialética. Este conceito está fundamentado, principalmente, no enfoque da realidade como sendo, em sua essência, composta de contrariedades e constantes transformações.

Pereira e Fonseca (1997) argumentam que a racionalidade dialética trabalha com categorias como a totalidade, ou seja, a visão de um conjunto, os contrários, a mediação, a mudança, a possibilidade de superação. Assim, parte-se do pressuposto de que há aspectos da realidade que não podem ser compreendidos individualmente, mas somente pela articulação existente entre eles.

Na racionalidade clássica os objetivos conflitantes, as questões opostas, os contrários como um todo, são vistos como erros, falhas no sistema. Num novo conceito tem-se a definição de racionalidade dialética onde os referidos opostos é que impulsionam a movimentação, a mudança, a possibilidade de ultrapassar limites.

2.5 O SISTEMA DO PROCESSO DE TOMADA DE DECISÃO

Paladini (1995) define um sistema como sendo uma estrutura organizada, cujos elementos são bem definidos e cujo funcionamento segue uma lógica determinada. Segundo o autor uma estrutura só pode ser chamada de sistema se apresentar os elementos que a caracterizem perfeitamente como tal. Sem estes elementos, não há sistema, mas uma outra estrutura qualquer. Os elementos que caracterizam um sistema são:

(a) Entradas; (b) Saídas; (c) Integração das partes; (d) Princípios básicos; (e) Busca de objetivos; (f) realimentação.

Neste contexto, o processo de tomada de decisão pode ser considerado como um sistema, visto que dentre outras características, o processo decisório apresenta um conjunto de elementos, entre os quais pode-se definir algumas relações. Segundo Bana e Costa (1995) *apud* Wisintainer (1999), este sistema está dividido, em dois subsistemas, à saber:

- 1) O subsistema dos atores;
- 2) O subsistema das ações.

Em relação ao primeiro subsistema pode-se dizer que o processo de tomada de decisão apresenta atores, ou seja, elementos que estão envolvidos direta, ou indiretamente no processo decisório. Desta forma, torna-se necessário definir o significado dos participantes do contexto decisório. Tem-se então:

• **Decisor**

A definição de decisor, segundo Bana e Costa (1996) *apud* Wisintainer (1999) é alguém a quem é exigido tomar uma decisão em circunstâncias progressivamente complexas. Ele terá pontos de vistas, valores, opiniões e convicções em relação a realidade. Nestas condições o decisor terá que envolver, manter, rever e continuamente atualizar estes valores, estas opiniões e estas convicções. É o decisor que tem a responsabilidade de ratificar, confirmar, validar uma decisão. Também é ele que assume as conseqüências da decisão.

• **Facilitador**

Por facilitador, Bana e Costa (1996) *apud* Wisintainer (1999) conceitua como sendo um ator interveniente, um ator particular, cujo grau de interferência no processo decisório é variável, dependendo do contexto

na qual a decisão está inserida. O autor salienta que o grau de participação do facilitador não deve ser “neutro”, pois o mesmo pode contribuir na seqüência do processo.

• Agidos

São aqueles que não estão envolvidos diretamente no processo, no entanto, podem exercer “pressões” sobre os que interferem diretamente nas decisões, visto que, em muitos casos, os agidos sofrerão as consequências da decisão propriamente dita. Os agidos agem de forma indireta, nunca diretamente no processo de tomada de decisão.

Em relação ao subsistema das ações, Roy (1985) define a ação como sendo uma representação de uma contribuição eventual à decisão global suscetível, em função do estágio de avanço do processo de decisão, de ser encarada de forma autônoma e de servir de ponto de aplicação na ajuda à decisão. O conceito de ação não precisa incorporar a idéia de realismo ou ato factível. A ação é o ponto de aplicação de ajuda à decisão.

O autor destaca que as ações podem ser potenciais ou irrealistas sendo que estas podem ser classificadas em reais ou fictícias. As ações fictícias, se subdividem ainda em ideais e não-ideais. Seguem, na seqüência, alguns conceitos relativos a esta classificação:

- Ações potenciais – São aquelas que pertencem a um projeto cuja execução pode ser considerada razoável na prática.
- Ações irrealistas – São aquelas que poderiam corresponder a objetivos que não são compatíveis com o caso em questão, no entanto, poderiam servir como discussão e reflexão em relação à decisão, podendo contribuir com novas alternativas.
- Ações reais – São oriundas de um projeto elaborado por completo e suscetível de ser implementado.
- Ações fictícias – Opõe-se às ações reais, no sentido de que

esse tipo de ação corresponde a um projeto idealizado, ou não construído na prática.

- Ações ideais – É toda a ação que corresponde às descrições e conseqüências previstas quando colocada em execução.
- Ações Não-ideais – Não apresentam correspondência entre o que se deseja e aquilo que é descrito.

2.6 PRINCIPAIS PROCEDIMENTOS DE TOMADA DE DECISÃO

Os procedimentos de tomada de decisão podem ser caracterizados de diversas formas. Esta caracterização envolve a idéia de que o processo decisório não se restringe apenas à tomada de decisão em si, mas abrange todos os envolvidos no processo, os aspectos que antecedem, participam e sucedem às decisões. Rabbani, J. R., (1996), faz uma caracterização dos principais procedimentos de tomada de decisão, que será exposta na seqüência.

2.6.1 Plano mestre

O plano mestre é preparado, normalmente, com boa dose de cuidado e atenção quanto ao futuro. As decisões são baseadas em interpretações do plano mestre, as quais determinam as regras que governam as contingências, as expectativas de performance e o que pode ou não ser feito. O plano mestre é orientado para o futuro. Nesse tipo de abordagem todos são informados do que será feito. Segundo o autor isso representa tanto a força, quanto a fraqueza desse modelo. Em circunstâncias em que o ambiente é estável, tal abordagem pode funcionar bem. No entanto, a maior parte dos ambientes sociais, econômicos e tecnológicos mudam rapidamente.

Assim, a maior desvantagem desse método é que raramente ele

funciona, já que as mudanças dos ambientes econômicos, sociais e tecnológicos ultrapassam o plano. Além disso, como a nova informação não se encaixa no plano mestre, raramente ele é usado para melhorar o processo de tomada de decisão. O procedimento do plano mestre não pode se adaptar tão rapidamente quanto seriam as demandas do meio ambiente.

2.6.2 Abordagem do ator racional

Esta abordagem de tomada de decisão é a mesma daquela envolvida na solução de problemas de programação matemática. Este modelo tradicionalmente pressupõe um conjunto de tomadores de decisão racionais, completamente informados, cujos problemas de decisão são baseados na maximização dos objetivos e metas, definidos num contexto de programação matemática. Isso significa que a função objetivo, bem como as restrições que definem uma solução, estão bem claras. Nessa abordagem, a quantificação é essencial. Entretanto, na maioria dos problemas reais, alguns dos elementos da função objetivo ou das restrições podem ser de difícil quantificação. Nesses casos, o usuário especifica que objetivos ele aceita relaxar e então se calcula uma nova solução dadas às restrições, continuando-se o processo até que o usuário se satisfaça com a melhor solução possível.

Este tipo de planejamento é interessante para tomadas de decisão que envolvem níveis aceitáveis de performance usados para desenvolver um conjunto de alternativas de decisões viáveis.

2.6.3 Abordagem incrementalista

Esta abordagem reflete a tendência dos tomadores de decisão em reagir a um problema existente com políticas que não diferem muito das políticas e dos programas já em execução. A abordagem incremen-

talista tem sido muito usada porque ela exige uma gama mais limitada de informações, tempo, recursos financeiros e especialistas.

Esse modelo de decisão é muito usado em tomadas de decisão de políticas de transportes, em muitas situações onde o problema requer a implementação de alguma forma de gerenciamento de tráfego. Em casos, por exemplo, de uma via principal começar a apresentar problemas de tráfego é comum implementar-se políticas de gerenciamento de tráfego como reação ao problema detectado. Muitos autores criticam esse modelo, alguns argumentam que esse tipo de abordagem não é sensível às aspirações do público. Sua aplicação é associada à alienação dos tomadores de decisão que podem entender ou aceitar o tratamento analítico do problema.

Através de uma abordagem incrementalista, os tomadores de decisão continuam a focar o problema, não com objetivos claros, amplos ou pré-definidos, mas ao contrário, com a esperança de encontrar soluções em relação a questões imediatas.

2.7 A TOMADA DE DECISÃO EM GRUPO

O processo de tomada de decisão passou por duas fases características de evolução. Inicialmente dominava uma visão tradicional, onde as decisões estavam centralizadas num único decisor. A tomada de decisão não era exercida como uma ação global. Numa segunda fase, a tomada de decisão começou a ser realizada em etapas, envolvendo diversos aspectos de cunho qualitativo. Atualmente, torna-se cada vez mais uma ação descentralizada e coletiva, destacando-se, no contexto mundial, a importância de decisões tomadas em grupo.

Segundo Rabbani, J. R., (1996), a partir dos anos 70, uma nova espécie de participação começou a evoluir, um tipo que poderia ser relevante a todos os grupos de interesse e a todos os cidadãos. Uma

participação que planeja alcançar mudanças sociais, que modifica a natureza das instituições e estruturas políticas. Em tal sociedade é muito importante que os indivíduos tenham oportunidade de expressar seus sentimentos e interesses e que suas opiniões influenciem nas decisões tomadas em relação a sua comunidade, seu bairro, cidade etc.

Nesse contexto, o processo de tomada de decisão pode ser mais criativo, baseado em múltiplas decisões, fundamentado na análise crítica de vários ponto de vista e exercido com maior liberdade individual.

Pereira e Fonseca (1997) salientam que a participação enriquece e estimula o processo decisório, diversificando e ampliando a análise das alternativas e conseqüências, tornando as decisões menos sujeitas a erros. O maior benefício da participação é a aprendizagem que ela proporciona, tornando os participantes capacitados e conscientes para realizar futuros ciclos de decisão.

Segundo Ehrlich (b) (1996), o comportamento de um grupo, em relação à tomada de decisões, apresenta particularidades que exigem:

- eventuais sacrifícios teóricos para garantir a facilidade de compreensão do processo por todos os membros do grupo;
- facilidade de comunicação;
- clara explicitação das metas;
- clara explicitação das importâncias das submetas;
- clara explicitação das preferências ao longo de cada critério;
- redução das ambições do analista, ao produzir um modelo que poderá ter distintos usos nas mãos dos diferentes membros do grupo.

No contexto organizacional, para um grupo que têm um objetivo específico, a tomada de decisão acaba sendo um aprendizado. Cada um dos participantes contribui com sua especialidades e conhecimentos e o

grupo, como um todo, tenta aplicar ao problema em questão a ser decidido. Normalmente, num grupo desse tipo, tem-se um consenso para uma decisão final, fundamental no planejamento de projetos.

As organizações atuais enfrentam desafios instigantes: contribuir para tornar a sociedade mais aberta, onde a democracia representativa ceda espaço para a democracia participativa, e conseguir melhores índices de qualidade de vida para as pessoas. (Pereira e Fonseca,1997)

Cabe aqui salientar a observação de diversos autores em relação ao sucesso do sistema produtivo do Japão. Muitos acreditam que este sucesso está relacionado com a forma como a direção de uma empresa se relaciona com os empregados.

De acordo com Rabbani, J. R., (1996), as instituições japonesas tomam decisões por consenso. Somente depois de um consenso ser atingido é que a decisão é executada. Acrescenta que este consenso só é atingido quando cada participante concorda com tópicos como:

- Eu acredito que você entendeu meu ponto de vista
- Eu acredito que eu entendo seu ponto de vista
- Preferindo ou não esta decisão, eu a apoiarei pois ela foi alcançada de forma aberta e justa.

Segundo Pereira e Fonseca (1997), os orientais, de modo geral, cultivam primeiro a amizade para depois fechar negócios. O sistema japonês é um dos mais bem sucedidos, a administração participativa, a tomada de decisões consensual e o envolvimento do ser humano em todos os níveis criam um ambiente mais favorável para inovações e mudanças. Apesar disso, a decisão final nas empresas japonesas é muito centralizada.

Paladini (1995) compara a filosofia japonesa com algumas situa-

ções observadas em outros países. Destaca que:

- 1) Na empresa japonesa, a decisão tende a ser tomada por um grupo, em regime de consenso ou apoio mútuo; nos Estados Unidos, a decisão é baseada muito mais em uma só pessoa que em grupos, e, à semelhança do Brasil, num estilo bastante centralizador. Neste sentido, no primeiro caso observa-se que a responsabilidade é sempre coletiva, ao contrário do modelo americano, onde é bem mais individualizada, e do modelo brasileiro, onde tende a se distribuir por grupos pequenos.

- 2) O modelo de processo de produção no Japão tem características bem mais participativas que no Brasil, por exemplo, onde o planejamento do processo é realizado muitas vezes por especialistas (apoio e assessoria). Lá, o planejamento é coordenado em geral por supervisores, que o adaptam à realidade do contexto em questão e às necessidades do setor.

Analisando-se um contexto mundial observa-se que entre as formas de tomada de decisão orientais e ocidentais existem consideráveis diferenças. No entanto, na atualidade, cada vez mais o processo de decisão está se tornando uma ação descentralizada e coletiva, destacando-se as tomadas de decisões em grupo. Estas decisões caminham na direção de mudanças sociais onde os indivíduos têm a oportunidade de expressar seus interesses, mesmo que ainda em poucos níveis.

No próximo capítulo será abordada a metodologia multicritério de apoio ao processo decisório. Esta metodologia é de fundamental importância principalmente, nos contextos decisórios que envolvem objetivos, que necessitam de uma perspectiva mais ampla.

CAPÍTULO III

3. A METODOLOGIA MULTICRITÉRIO DE APOIO À DECISÃO

3.1 INTRODUÇÃO

O capítulo anterior tratou, essencialmente, da apresentação da modelagem para apoio às decisões e dos principais aspectos relacionados à tomada de decisão.

Neste capítulo será abordada a metodologia multicritério de apoio à decisão, que é um tópico extremamente rico em idéias e escolas de pensamento. Trata, principalmente, dos problemas de decisão sobre os quais são contemplados objetivos que requerem uma visão global que compreenda vários critérios. Esta visão, surge como uma tendência em relação às mudanças de pensamento apresentadas pela sociedade, nos últimos anos.

Verifica-se que um longo período de transformações está sendo vivenciado pelos seres humanos e pela sociedade como um todo. Em uma visão multiobjetiva do mundo, alcançar menos em relação a um objetivo significa que mais pode ser alcançado em relação a outros objetivos.

Uma nova forma de pensar que contempla critérios relacionados a emprego, educação, questões ambientais, ética, segurança, igualdade e justiça social está sendo incorporada.

Desde os anos 70 o pensamento a respeito de como resolver problemas vem mudando com mais intensidade, enfrentando os desafios de uma nova realidade. Estes desafios fizeram com que surgissem, nos

últimos anos, um conjunto de novos métodos para auxiliar no processo de tomada de decisão.

Segundo Corrêa (1996), estes novos métodos talvez sejam menos conhecidos e até mesmo menos utilizados que seus antecessores, porém estas mudanças foram fortes o suficiente para que os tradicionais algoritmos de otimização da Pesquisa Operacional deixassem de ser a única ferramenta disponível para se tomar uma decisão fazendo uso de um procedimento científico.

Estes novos métodos de apoio ao processo decisório surgem como forma de resolver problemas de natureza multidisciplinar, com diversos fatores a serem levados em conta na análise. Não se quer dizer que, em determinadas circunstâncias, não seja conveniente privilegiar um único objetivo, baseando uma decisão na sua otimização sujeita a um conjunto de restrições. Estes novos métodos somam-se aos tradicionais, respeitando seu inegável valor.

Rosenhead (1989) argumenta que os métodos tradicionais da pesquisa operacional são o que se pode chamar de “planejamento racional compreensivo”, pois geralmente seguem as seguintes etapas: identificação de objetivos, identificação de alternativas, previsão das conseqüências, avaliação das conseqüências em uma escala comum (normalmente monetária) e escolha da ação que proporciona o benefício mais alto.

Segundo o mesmo autor as características do paradigma dominante na pesquisa operacional até o início da década de 70 eram:

1. Formulação do problema em termos de um único objetivo e da otimização. Caso fosse reconhecida a existência de múltiplos objetivos, eram traduzidos em uma escala única.
2. Necessidade expressiva de dados, gerando problemas de distorções, indisponibilidade e falta de credibilidade dos dados.

3. Assumia-se a existência de consenso *a priori*.
4. Considerava-se que as pessoas eram passivas frente a decisão.
5. Suposição de um decisor único com objetivos claros, de onde seria possível obter ações corretivas diretamente.
6. Tentativas de abolir incertezas e tomar decisões futuras antecipadamente.

A existência deste paradigma, então, levou ao desenvolvimento de novas abordagens. Estas novas abordagens *soft*, conforme Checkland (1985), seguem um paradigma alternativo, cujas características são:

1. Não-otimização, ou seja, a procura por soluções alternativas que são aceitáveis em diferentes dimensões sem necessidade de trocas (*trade-off*).
2. Necessidade reduzida de dados, obtida por meio de uma grande integração entre dados quantitativos e qualitativos com julgamentos subjetivos.
3. Simplicidade e transparência objetivando tornar claras situações de conflito.
4. Consideração de que as pessoas são sujeitos ativos do processo decisório.
5. Criação de condições que propiciem um planejamento de baixo para cima (*botton-up*).
6. Aceitação de incertezas, procurando deixar opções em aberto para garantir flexibilidade em relação a eventos futuros.

A utilização de múltiplos critérios na tomada de decisão foi uma das diferentes propostas que surgiram a partir da adoção deste novo paradigma das abordagens *soft*.

Segundo Rabbani, J. R., (1996), uma das primeiras abordagens da tomada de decisões com múltiplos critérios, embora não largamente

considerada como tal, é a de Herbert A. Simon (1958). Seu trabalho sobre satisfação é um método bem semelhante ao de múltiplos critérios. Tal método envolve a determinação de objetivos e, então, a busca por eles, até que se encontre uma solução que atinja os níveis estabelecidos.

Mesmo assim, foi somente a partir do final da década de 60 que as primeiras idéias em relação à utilização de múltiplos critérios começaram a tomar base. Também neste período, ocorreram as primeiras conferências relacionadas ao assunto na Europa.

Como destaca Bana; Stewart; Vansnick (1995) *apud* Schmidt (1995), em 1975, Bernard Roy organizou o primeiro encontro Euro Working Group on Multicriteria Aid for Decisions em Bruxelas, também em 1975, Hervè Thiriez e Stanley Zionts organizaram a primeira conferência, que mais tarde, tornou-se a International Society on Multiple Criteria Decision Making.

Com o passar dos anos foram sendo desenvolvidas metodologias cada vez mais detalhadas e específicas. A partir desta diversificação, verificou-se a criação de linhas de pesquisa dentro do assunto “Metodologias Multicritério de Apoio à Decisão”. Estes avanços baseiam-se fundamentalmente, nos desenvolvimentos em áreas como: teoria de medida, teoria da decisão, economia, estatística.

Dentro das abordagens desenvolvidas nos últimos anos têm-se alguns métodos bastante populares, destacando-se aqui o método AHP desenvolvido por Saaty, o qual será detalhado mais adiante.

3.2 A TOMADA DE DECISÃO TRADICIONAL POR ÚNICO CRITÉRIO

Os tradicionais tipos de abordagens para tomada de decisão, surgidos com o desenvolvimento da Pesquisa Operacional (PO), tinham como objetivo a obtenção de uma solução ótima. As preferências do

decisor deveriam ser representadas, com precisão, pela definição de um único critério (monocritério) na modelagem matemática da PO.

Segundo Tanczos (1997), até 1970, os tomadores de decisão tinham de formalizar os problemas de tomada de decisão conforme segue.

Dado um conjunto \mathbf{A} bem definido de alternativas viáveis \mathbf{a} . Em geral, há duas formas possíveis para \mathbf{A} : a forma analítica, onde a alternativa viável $\mathbf{a} = (x_1, \dots, x_m)$, que torna \mathbf{A} um subconjunto de R^m , e a forma enumerativa, onde \mathbf{A} é definido por uma lista de alternativas sem nenhum vínculo explícito a formulações matemáticas de contenção. O tomador de decisão (\mathbf{D}) tem uma função de valor real \mathbf{g} (um único critério) definida em \mathbf{A} refletindo precisamente suas preferências de forma que “ \mathbf{D} prefere \mathbf{a}' ao invés de \mathbf{a} se e somente se $\mathbf{g}(\mathbf{a}')$ for maior que $\mathbf{g}(\mathbf{a})$ e \mathbf{D} é indiferente entre \mathbf{a}' e \mathbf{a} se e somente se $\mathbf{g}(\mathbf{a}') = \mathbf{g}(\mathbf{a})$ ”.

Dentro da forma analítica de \mathbf{A} , percebe-se que $\mathbf{g}(\mathbf{a}) = \mathbf{g}(x_1, \dots, x_m)$. O tomador de decisão precisou, então, distinguir entre o caso determinístico, onde $\mathbf{g}(\mathbf{a})$ é computado sem nenhuma referência às variáveis aleatórias, e o caso probabilístico, onde uma ou mais variáveis aleatórias \mathbf{Y} intervêm (através de algumas características de distribuição de probabilidade e de funções de utilidade) na computação de $\mathbf{g}(\mathbf{a})$. O tomador de decisão deparou-se, então, com um problema matemático bem formulado: ele ou ela teve de encontrar (ou descobrir) $\mathbf{a}^* \in \mathbf{A}$ de forma que $\mathbf{g}(\mathbf{a}^*) \geq \mathbf{g}(\mathbf{a})$ para todo $\mathbf{a} \in \mathbf{A}$.

Os problemas de decisão formalizados desta forma evoluíram para uma abordagem multicritério, onde todos os parâmetros tidos como importantes passaram a ser considerados nos modelos.

De acordo com Pereira e Moreira (2001), o uso de múltiplos critérios não é uma simples generalização das abordagens tradicionais monocritério, mas sim, constitui-se num novo paradigma para analisar contextos decisórios e auxiliar no apoio à tomada de decisão.

3.3 A TOMADA DE DECISÃO COM MÚLTIPLOS CRITÉRIOS

Alguns tipos de decisão envolvem múltiplos critérios ou objetivos, com uma variedade de funções ou propósitos, muitos dos quais difíceis de serem medidos e em muitos casos conflitantes. Na maioria dessas decisões, são muitos os aspectos relevantes que devem ser levados em consideração, como também são muitos os interesses em questão.

Em muitos casos, decisões são tomadas com base em experiências ou percepções subjetivas do tomador de decisão, o que pode introduzir dúvidas ou levar a inconsistências nas decisões tomadas. A questão assume um grau de complexidade ainda maior, quando várias pessoas participam do processo de tomada de decisão, cada uma delas com percepções diferentes em relação às alternativas e aos critérios de avaliação.

A importância dos métodos multicritérios de apoio à decisão está na ideia de que para resolver grande parte dos problemas de decisão, é necessária uma avaliação de diversos objetivos.

Um exemplo clássico é citado por Ehrlich (b) (1996), é o caso da procura de uma nova residência. Desejamos que essa casa seja grande, barata e com boa vizinhança. O objetivo global é que a residência seja a mais adequada possível. No caso, têm-se três critérios: tamanho, preço e vizinhança. O objetivo que se refere a tamanho pode ser medido em m^2 , o que se refere a preço em reais, no entanto, em relação a vizinhança tem-se uma questão de ordem qualitativa, mais nebulosa e de difícil mensuração: seria necessário decompor este objetivo em diversos sub-objetivos, resultando, destes, um número índice numa escala determinada.

Uma metodologia de análise multicritério permite, como no caso do exemplo anterior, incorporar na tomada de decisões, tanto percepções qualitativas quanto indicadores de natureza quantitativa.

De acordo com Rabbani, J. R., (1996), o objetivo da tomada de decisão por múltiplos critérios é identificar e selecionar o melhor caminho de ação, frente a um determinado problema de decisão que envolve múltiplos objetivos. O autor observa que, na realidade, não existem objetivos conflitantes por definição. Qualquer decisão depende do contexto da situação, bem como de quem está tomando a decisão, quando, onde e como.

No processo multicriterial de decisão existe um decisor (ou vários) que tomam a decisão; um conjunto de objetivos a serem perseguidos e, um conjunto de alternativas. Desta forma, um processo de decisão multicriterial trabalha com termos como autor, objetivos, metas, critérios, atributos, restrições e suas relações. Em termos gerais, a análise multicritério sempre opera segundo um esquema seqüencial de fases, não estático nem linear, que pressupõe realimentações, revisões e reformulações no decorrer do processo.

(BAASCH, 1995).

Considerando estas questões, cabe aqui estabelecer significado de alguns elementos comuns nos procedimentos de tomada de decisão por múltiplos critérios. As definições básicas de tais elementos são as seguintes, conforme Rabbani, J. R., (1996):

- **Meta:** A meta é a direção final na qual o processo de decisão se encaminha. Por exemplo, uma meta de investimento no transporte urbano pode ser identificada como (i) maximizar a mobilidade da comunidade, ou (ii) auxiliar na distribuição igualitária do bem estar à população. A meta pode ou não ser atingida. Se uma meta não pode ou dificilmente será atingida, ela pode ser transformada em um objetivo.
- **Objetivo:** Indica a direção de mudança desejada pelos tomadores de decisão. Por exemplo, a meta mencionada anteriormente, ou seja, a maximização da mobilidade pode ser dividida em dois grupos de objetivos: maximizar a locomoção fornecida pelo sistema de transportes e maximizar a qualidade do meio ambiente na área urbana. Alguns desses objetivos podem ser conflitantes entre si. Conforme a experiência em diversos

países tem demonstrado, os objetivos de locomoção e qualidade do meio ambiente estão frequentemente em conflito.

- **Critérios:** Uma medida para avaliação do grau de realização de metas, dado determinado ambiente de decisão. Cada problema tem múltiplos atributos. Na maior parte dos casos, quando o número de critérios é grande, eles são representados em uma estrutura hierárquica. Podem existir diversos critérios considerados como principais. Cada critério contém vários subcritérios, e cada subcritério pode ter ainda vários sub-subcritérios.
- **Alternativa:** Indica um curso de ações possíveis. O número de alternativas a serem priorizadas, niveladas e selecionadas pode variar de poucas até um grande número. Nem sempre elas são claramente definidas e diferenciadas. Porém, quando se estuda melhor o modelo em questão, aprende-se mais em relação às alternativas, prioridades, necessidades e possibilidades do caso. Os critérios de escolha tornam-se mais confiáveis e as escolhas entre alternativas são feitas com maior confiabilidade.

Um tomador de decisões pode expressar suas preferências tanto em relação aos atributos, quanto sobre as alternativas. Para um melhor julgamento, é necessária uma interação com o meio na qual a questão está inserida, discussão com as pessoas envolvidas no assunto, coleta de informações sobre a situação e a análise do caso a partir de vários pontos de vista.

Pesquisas sobre como são tomadas decisões com múltiplos critérios, na prática, revelam que existem alguns aspectos fundamentais a serem levados em consideração neste contexto de tomada de decisão.

Tanczos (1997), destaca cinco aspectos relevantes. Primeiro, a margem entre o que é e o que não é viável, muitas vezes fica obscura e é frequentemente modificada ao longo do processo decisório. Em segundo lugar, em muitos problemas do mundo real, não existe um tomador de

decisões realmente capaz de decidir. Geralmente vários atores tomam parte no processo de decisão e há uma confusão entre quem ratifica a decisão e quem é o assim chamado 'tomador de decisão'. O terceiro aspecto é que, mesmo quando o tomador de decisão não é uma pessoa fictícia, suas preferências raramente são bem formadas: há zonas de incertezas, crenças não-absolutas, ou claros conflitos e contradições. Obviamente os dados são, em muitos casos, imprecisos ou definidos de forma arbitrária e, finalmente, é geralmente impossível dizer se uma decisão é boa ou má referindo-se somente a um modelo matemático: aspectos culturais e organizacionais de todo o processo de decisão que conduzem a uma determinada decisão também contribuem para a sua qualidade e sucesso.

O objetivo principal de um suporte para decisões com múltiplos critérios é construir ou criar algo que seja visto como viável para ajudar um ator a participar do processo de decisão, tanto no sentido de dar a forma ou discutir e/ou transformar suas preferências, ou em tomar uma decisão que esteja em conformidade com seus objetivos.

3.4 ALGUMAS METODOLOGIAS DE DECISÃO MULTICRITERIAL

Através do levantamento bibliográfico realizado, verificou-se que existem diferentes correntes metodológicas dedicadas à resolução de problemas de natureza multicriterial. A diferença entre estas escolas está, basicamente, nos fundamentos teóricos de abordagem do processo de modelagem. Este processo pode se dar de diferentes formas: numa seqüência de interações entre o analista e o decisor, através de um modelo de agregação da teoria da utilidade multiatributo, ou na modelagem das preferências através da construção de uma relação binária.

Na seqüência, descreve-se algumas metodologias de decisão multicriterial. Assim:

- **Teoria da Utilidade Multiatributo**, postula que o indivíduo compara as alternativas não em função dos valores assumidos pelos seus critérios, antes o indivíduo consideraria qual a utilidade destes valores para a solução de seu problema. O indivíduo deverá identificar uma função utilidade marginal para cada critério. Esta função deverá permitir representar a utilidade subjetiva percebida pelo decisor, através de um valor numérico.

- **Método iterativo**, relaciona-se, na maioria dos modelos, com algum modelo de programação matemática como: programação linear, programação multi-objetivo, programação dinâmica, programação não linear etc. É um procedimento que consiste de estágios de cálculo e discussão.

- **A decisão multicriterial difusa**, é uma escola que está fundamentada na teoria dos conjuntos difusos. Esta teoria recebe, a partir da década de 80, uma crescente atenção na resolução de problemas de decisão multicriterial.

- **Métodos descritivos** que fazem uso de gráficos para mapear o espaço de decisão, auxiliando na compreensão do problema, e, na determinação de sua solução.

- **O modelo Analytic Hierarch Process (AHP)** às vezes é considerado como um modelo da Teoria da utilidade multiatributo, no entanto, este modelo não define nenhum tipo de função utilidade marginal, utilizando comparações das alternativas entre si, diretamente. Este modelo será detalhado minuciosamente em um capítulo posterior, por se tratar do modelo de interesse neste trabalho.

Os métodos descritos nesta seção não são exaustivos, existem ainda uma série de outros métodos multicriteriais. Com exceção do modelo

AHP, não é de interesse, nem objetivo deste trabalho o aprofundamento e a descrição dos métodos citados acima.

3.5 A METODOLOGIA MULTICRITÉRIO NO DESENVOLVIMENTO DE INFRA-ESTRUTURA EM TRANSPORTES

Muitos problemas de decisão, principalmente aqueles que surgem atualmente no desenvolvimento de infra-estrutura do setor de transportes, são complicados pela necessidade de considerar-se uma gama de assuntos. Têm-se tópicos relacionados ao meio ambiente, à qualidade de vida, ao desenvolvimento sustentável etc.

A fim de refletir isso, a maioria dos problemas de desenvolvimento de infra-estrutura em transportes tem de lidar com múltiplos objetivos de forma a auxiliar os tomadores de decisão. Os processos de avaliação têm de integrar os aspectos quantitativos e qualitativos do desenvolvimento da infra-estrutura dos transportes.

Segundo Novaes (1989), é muito comum nos problemas de transporte e localização a ocorrência de fatores de natureza diversa. Alguns fatores apresentam características tipicamente quantitativas outros qualitativas. Acrescenta o autor, que a preocupação crescente com questões ambientais, tanto no contexto urbano como no regional, e a maior complexidade dos fatores que influem nas alternativas tem induzido os pesquisadores a utilizarem os métodos multicritérios que incorporam ambos os tipos de fatores à análise.

Tanczos (1997), destaca que no contexto dos projetos de desenvolvimento de infra-estrutura dos transportes, a perspectiva geral da análise por múltiplos critérios consiste nas seguintes etapas:

- **A identificação:**

- **do tomador de decisões**

- ✓ funcionários publicamente eleitos,
 - ✓ gerenciadores (gerentes) das agencias de transportes,
 - ✓ gerenciadores do setor privado,
 - ✓ funcionários de corporações,
 - ✓ funcionários públicos eleitos ou indicados,
 - ✓ representantes dos moradores ou autoridades locais,
 - ✓ especialistas de instituições financeiras;

- **do nível de decisão**

- ✓ internacional (multinacional),
 - ✓ governamental (nacional),
 - ✓ regional (local),
 - ✓ local (nível da companhia);

- **o horizonte temporal da decisão**

- ✓ operacional,
 - ✓ estratégica,
 - ✓ política;

- **a finalidade da decisão**

- ✓ encontrar a “melhor” solução,
 - ✓ classificação,
 - ✓ alocação de recursos;

- **identificação dos cursos de ação alternativos** (variantes de desenvolvimento)

- **identificação dos atributos que são relevantes para a decisão do problema** (atributos medidos diretamente para a avaliação):

- **identificação do uso da terra**

- ✓ comunidade e bairro pela proximidade do centro da cidade,

- ✓ proporção de uso misto da terra,
- ✓ proporção da área não desenvolvida,
- ✓ densidade populacional,
- ✓ tempo de edificação das residências na área,
- ✓ localização das instituições sociais,
- ✓ localização das fronteiras do bairro;

- impactos econômicos

- ✓ emprego,
- ✓ renda,
- ✓ atividade econômica,
- ✓ atividade residencial,
- ✓ efeitos na propriedade,
- ✓ planos regionais e comunitários,
- ✓ consumo de recursos;

- impactos sociais

- ✓ deslocamento das pessoas,
- ✓ acesso a serviços e órgãos,
- ✓ efeito dos terminais nos bairros,
- ✓ grupos de usuários especiais;

- impactos físicos

- ✓ valores estéticos e históricos,
- ✓ infra-estrutura;

- impactos no ecossistema

- ✓ qualidade do ar (CO, HC, NO, óxido sulfúrico, partículas),
- ✓ barulho,
- ✓ vibração,
- ✓ ruptura ou dano às propriedades adjacentes,
- ✓ terra usada;

- **segurança pública**

- ✓ mortos,
- ✓ seriamente feridos,
- ✓ levemente feridos;

- **energia**

- **distribuição de valores para cada atributo a fim de medir a performance das alternativas para aquele atributo,**
- **determinação de um peso para cada atributo,**
- **assumir uma média ponderada dos valores distribuídos à alternativa para cada alternativa,**
- **tomada de uma decisão (provisória).**

A mesma autora apresenta os principais elementos do sistema de transportes, a fim de identificar os critérios que podem ser considerados como os mais relevantes na avaliação de projetos relacionados ao desenvolvimento de estrutura em transportes. Tem-se como destaque a intermodalidade do sistema, que envolve um conjunto de elementos básicos como:

- rede de infra-estrutura (específica por modo);
- interface (terminais intermodais, estações, portos);
- subordinação (para operações e manutenção);
- estoque de giro, veículos, combustível;
- capital humano;
- informação (sistemas de informações, incluindo a informação sobre o passageiro, reservas, planejamento de reservas, horários, viagem, monitoramento do veículo);
- finanças (disponibilidade de receita, subsídios).

Tanczos (1997), salienta que um conjunto coerente de critérios relacionados ao planejamento em transportes deve conter, pelo menos, os seguintes atributos agregados:

- Impacto social;
- Impacto no tráfego;
- impacto econômico;
- impacto técnico;
- impacto ambiental;
- segurança;
- considerações financeiras (incluídos os custos de investimento).

No geral, os procedimentos de seleção e classificação dos projetos de desenvolvimento de infra-estrutura de transportes exigem um instrumento de apoio à tomada de decisão que seja capaz de considerar não apenas os atributos múltiplos mas também de lidar com os interesses dos diferentes grupos envolvidos.

Esses tipos de problemas de decisão, envolvem decisores de diferentes campos como autoridades do governo, técnicos, ecologistas, cidadãos etc. Os decisores têm a tarefa de classificar certos projetos de desenvolvimento de infra-estrutura de transportes.

No próximo capítulo será abordada a metodologia multicritério Analytic Hierarchy process (AHP), que é o foco principal deste trabalho.

CAPÍTULO IV

4. A METODOLOGIA ANALYTIC HIERARCHY PROCESS (AHP)

4.1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo será abordada a Metodologia Multicritério Analytic Hierarchy Process (AHP), que é muito utilizada por analistas e tomadores de decisão na resolução de problemas complexos.

O capítulo está dividido em cinco partes, em que a primeira é esta, que traz uma breve introdução.

A segunda parte trata dos aspectos fundamentais da metodologia AHP, descrevendo e conceituando os elementos mais importantes da metodologia.

A terceira parte aborda o princípio da decomposição, apresentando a maneira de estruturar um problema de decisão no AHP.

A quarta parte apresenta a fase de avaliação, abordando a maneira de avaliar os julgamentos e a consistência dos mesmos.

Finalmente, a quinta parte mostra a síntese das prioridades e como determiná-las.

4.2 O ANALYTIC HIERARCHY PROCESS (AHP)

O Analytic Hierarchy Process (AHP) é uma técnica de análise de decisão e planejamento de múltiplos critérios desenvolvida pelo matemático Thomas L. Saaty na década de 70. O AHP surgiu como 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. É uma técnica que tem demonstrado ser útil e variada, apresentando resultados de grande importância. O AHP fornece elementos às diversas áreas de pesquisa, permitindo que estudiosos de diferentes domínios tenham uma nova forma de analisar os problemas.

A teoria do AHP reflete a maneira natural do funcionamento da mente humana ao avaliar e estruturar um problema complexo. Ao confrontar-se com um grande número de elementos, controláveis ou não, que abrangem uma situação complexa, a mente humana os agrega a grupos, segundo propriedades comuns. Assim, quando o ser humano identifica alguma questão complexa, decompõe a complexidade encontrada, descobre relações, sintetizando-a.

O modelo do funcionamento da mente humana permite uma repetição do processo de síntese, em relação as suas propriedades comuns de identificação, como os elementos de um novo nível no sistema. Esses elementos podem ser agrupados segundo um outro conjunto de propriedades, gerando os elementos de um outro nível, até ser atingido um único elemento que, muitas vezes, pode ser identificado como o objetivo “maior” do processo decisório.

Saaty (1980) descreve que sua teoria é um modelo da maneira pela qual a mente humana conceitualiza e estrutura um problema. Salaria que esta estruturação foi influenciada pelas seguintes constatações:

- 1) Ao se observar as pessoas que participam de um processo de estruturação e priorização, percebe-se que elas se empenham naturalmente em sucessivos agrupamentos de elementos dentro dos níveis e na distinção entre níveis de complexidade.
- 2) Os indivíduos informados sobre um determinado problema podem estruturá-lo de maneira diferenciada, mas, se seus julgamentos são semelhantes, suas respostas gerais deverão ser semelhantes.
- 3) No desenvolvimento da teoria em questão, encontrou-se uma forma matematicamente racional de lidar com os julgamentos. Além disso, os limites psicológicos parecem estar em consonância com as condições para a estabilidade matemática dos resultados.

Quando o ser humano pensa, identifica objetos ou idéias e também sua inter-relação. Ao descobrir relações, sintetiza-as. Este é o processo fundamental da percepção: **decomposição** e **síntese**.

O propósito da teoria do AHP é criar uma metodologia para modelagem de problemas desestruturados, nas mais diversas áreas. Esta metodologia pode ser usada para estruturação de problemas de decisão nas atividades econômicas, sociais, gerenciais etc.

Quando os fatores já foram medidos de maneira quantitativa, a capacidade de modelar problemas complexos chega, no geral, ao limite de sua eficácia. A modelagem de problemas complexos depende, tradicionalmente, dos fatores que podem ser numericamente quantificáveis.

Os modelos baseados somente em fatores quantitativamente mensuráveis não refletem fielmente a realidade. Fatores significativos deixam de ser considerados no processo. São estes fatores que devem ser controlados e medidos, para que sejam obtidos resultados realistas.

As simplificações, utilizadas para adaptar as situações complexas aos modelos quantitativos, muitas vezes deixam de considerar fatores importantes. Os modelos devem incluir e medir todos os fatores necessários tanto qualitativa como quantitativamente.

Os valores sociais requerem um método apropriado de avaliação que permita, nos problemas de decisão, avaliar equivalências entre qualidade do meio ambiente, aspectos financeiros, saúde, felicidade etc. Este método tem que facilitar a interação entre a avaliação e o fenômeno social ao qual se aplica. Neste sentido, a metodologia AHP surge como forma de suprir a necessidade de incluir características tangíveis e intangíveis nos processos decisórios.

O AHP é uma metodologia que utiliza, na resolução de problemas de tomada de decisão, a forma de hierarquia. Assim, o problema é decomposto em níveis hierárquicos, proporcionando uma melhor compreensão e uma visão global da relação complexa inerente à situação. O problema é decomposto em fatores e estes podem ser decompostos em um novo nível de fatores (e assim por diante até certo nível). Os elementos, selecionados preliminarmente, são organizados em uma hierarquia descendente. No primeiro nível de uma hierarquia deve estar o objetivo principal; num nível hierárquico abaixo, devem estar os sub-objetivos em seguida, os critérios, e, finalmente, as alternativas. O AHP parte do geral para o mais particular e específico.

Uma hierarquia pode ser constituída de diversos níveis, de acordo com o problema de decisão em questão. Consolida-se o objetivo principal no primeiro nível, a definição dos critérios no segundo nível e assim sucessivamente.

A maioria dos problemas complexos, envolvendo múltiplos critérios, vários decisores, diversos períodos, pode ser estruturada hierarquicamente pelo método AHP. Este é um processo flexível e versátil, que permite incluir e medir fatores importantes, quantitativa e qualitativamente.

A questão principal, em um problema de tomada de decisão, é escolher a solução alternativa que melhor satisfaz o conjunto total de objetivos considerados relevantes. Além disso, é necessário conhecer com que força um determinado elemento de um nível influencia um outro elemento de um nível, hierarquicamente, superior. Assim, pode-se estimar as forças relativas dos impactos dos elementos sobre o nível mais alto e sobre os objetivos gerais.

O Analytic Hierarchy Process (AHP) permite que seja construída uma estrutura que engloba: ordenação de julgamentos, critérios, subcritérios. Esta estrutura possibilita revelar de forma clara e objetiva as preferências dos tomadores de decisão.

A Figura 4.1 sintetiza os principais passos da metodologia AHP no processo de tomada de decisão.

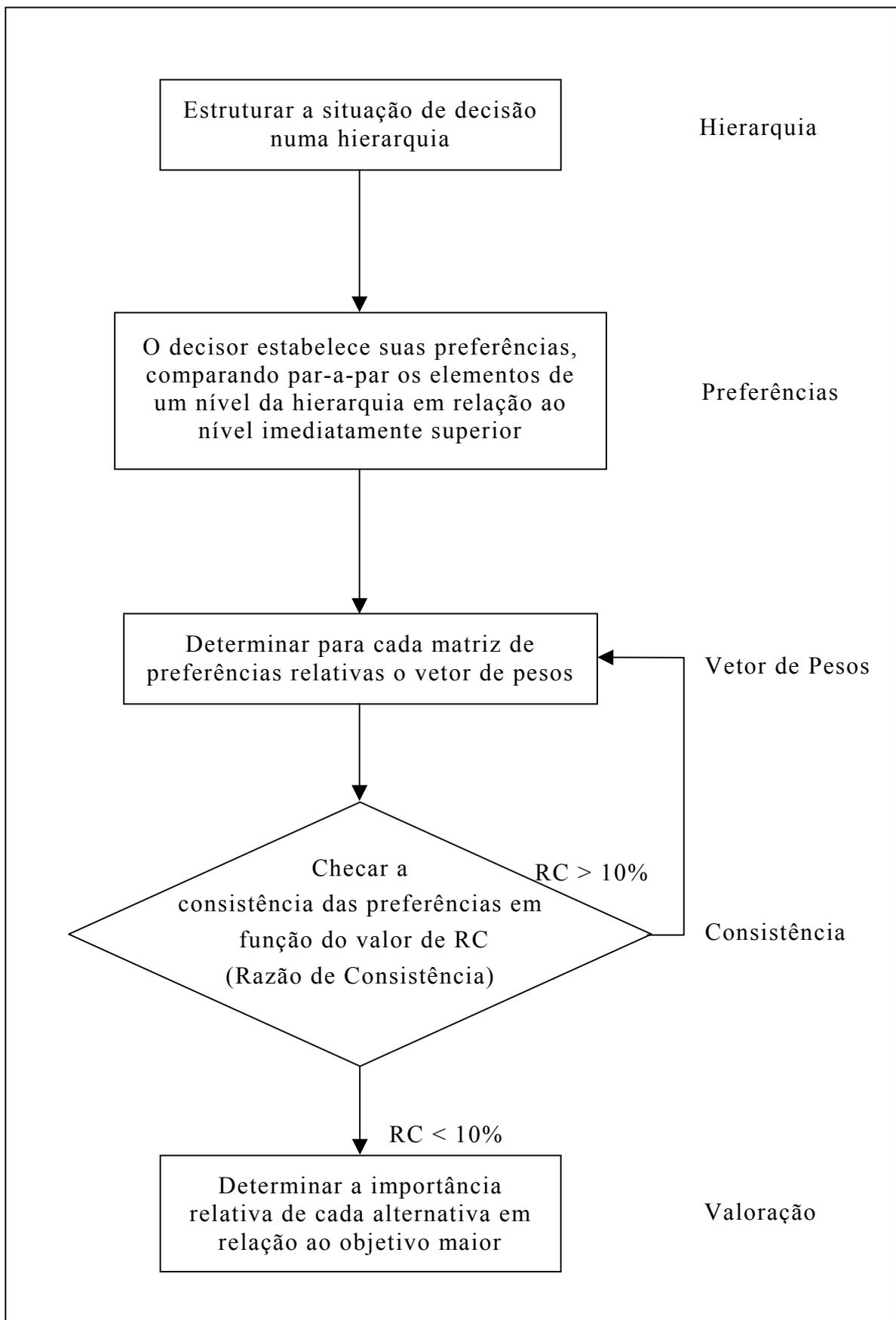


Figura 4.1 – Fluxograma Geral do AHP

Saaty (1991), salienta que, no geral, a tomada de decisão com o AHP envolve os seguintes passos:

- 1) Planejamento;
- 2) Geração do conjunto de alternativas;
- 3) Estabelecimento de prioridades;
- 4) Escolha da melhor política, após definição do conjunto de alternativas;
- 5) Alocação de recursos;
- 6) Determinação dos requisitos;
- 7) Previsão dos resultados;
- 8) Projeto dos sistemas;
- 9) Avaliação de desempenho;
- 10) Garantia de estabilidade do sistema;
- 11) Otimização; e finalmente,
- 12) Resolução de conflitos.

A metodologia Analytic Hierarchy Process (AHP) está baseada em três princípios. Eles são:

- 1) Decomposição (estruturação);
- 2) Julgamentos comparativos;
- 3) Síntese das prioridades.

4.3 O PRINCÍPIO DA DECOMPOSIÇÃO (ESTRUTURAÇÃO)

A fase de estruturação de um problema de decisão é tida como uma das mais importantes atividades do processo decisório. Nesta fase, é necessário um cuidado maior, visto que, um problema mal estruturado pode levar a armadilhas, produzindo soluções sofisticadas, no entanto, ruins.

A tarefa de estruturação tem como objetivo a criação de um modelo que possa ser aceito, pelos tomadores de decisão, como um esquema de representação e organização dos componentes a serem avaliados. A estruturação de um problema de decisão contribui para uma tomada de decisão consistente, fornecendo aos decisores informações claras sobre elementos da avaliação.

O processo de tomada de decisão necessita de um cuidado especial, principalmente no que se refere à estrutura da decisão adotada. A fase de estruturação deve ser vista como um sistema variável, isto é, deve estar sempre aberta a modificações ao longo de todo o processo de decisão.

Para iniciar a fase de estruturação, primeiramente é necessária a compreensão da complexidade do problema que necessita de solução. Para isto, é fundamental analisar e caracterizar todo o sistema envolvido no problema de tomada de decisão em questão. Neste sentido, cabe aqui salientiar alguns aspectos relacionados à concepção de um sistema.

Saaty (1991) define um sistema como um modelo abstrato para a estruturação de algo da vida real, tal como o sistema nervoso de um ser humano, o governo de uma cidade, a rede de transportes de um estado etc. Em sistemas de linguagem, avalia-se o impacto de vários componentes de um subsistema sobre o sistema completo e encontra-se, então, suas prioridades.

Alguns autores definem um sistema em termos de suas interações com as partes. Porém, uma definição mais ampla de um sistema pode ser dada em termos de sua estrutura, suas funções, os objetivos definidos no projeto, visto da perspectiva de um indivíduo em particular ou um grupo, e finalmente o ambiente, no qual o sistema em estudo passa a ser apenas um subsistema. Com o objetivo de torná-lo prático, um sistema é sempre considerado em termos de sua (conforme Saaty, 1991):

- 1) **Estrutura** - de acordo com a organização física, biológica, social e até psicológica de suas partes, e de acordo com o fluxo do material e pessoas que definem as relações e a dinâmica da estrutura; e
- 2) **Função** - de acordo com as funções a que os componentes do sistema, seja ele animado ou inanimado, devem servir; quais são estas funções e a que objetivos elas devem atender; de que objetivos mais altos esses objetivos são parte (levando a um propósito geral do sistema); que objetivos estão sendo satisfeitos; que conflitos entre indivíduos terão de ser resolvidos.

No contexto real, a estrutura e a função de um sistema são entes que não podem ser analisados separadamente. Elas são a realidade vivenciada. O interessante é analisá-las simultaneamente. Fazendo isto, verifica-se que a estrutura serve como um meio para analisar a função. A função, por conseguinte, modifica a dinâmica da estrutura.

Assim, segundo Saaty (1991), uma hierarquia (utilizada na estruturação de problemas de decisão com o AHP) é uma abstração da estrutura de um sistema para estudar as interações funcionais de seus componentes e seus impactos no sistema total.

A partir do contexto de sistema apresentado, cabe aqui salientar a concepção de cenário. Um cenário é uma interpretação de uma idéia, sendo enfatizado com uma representação apropriada de sua interação com os fatores ambientais, culturais, políticos, sociais, econômicos etc.

Saaty (1991), salienta que, em geral, existem dois tipos de cenário. Tem-se então:

- 1) **Cenário Exploratório** – Onde o ponto de partida é o presente. O cenário exploratório é sempre usado como uma técnica para

forçar a imaginação, estimular a discussão e atrair a atenção dos tomadores de decisão para assuntos específicos.

- 2) **Cenário Antecipatório** – Está relacionado com a conceituação de futuros viáveis e desejáveis. Ele começa por algum ponto no futuro, e retorna a fim de descobrir que alternativas e ações são necessárias para alcançar tais futuros.

Os cenários abrangem elementos fundamentais como: fatores econômicos, fatores relacionados à competitividade, fatores ambientais, regulamentação etc.

Segundo Saaty (1991), alguns dos componentes mais importantes na construção de cenários são:

- 1) Definição do sistema geral e das limitações internas e externas, bem como a identificação de subsistemas;
- 2) Estruturação hierárquica dos subsistemas e identificação dos componentes;
- 3) Definição dos vários estados dos sistemas e modelagem dos seus desenvolvimentos históricos;
- 4) Utilização de cenários para tratamento da evolução do sistema e seus impactos nas características da sociedade, como também da dinâmica interna do modelo;
- 5) Definição dos objetivos do cenário com uma discussão de seus valores;
- 6) Escolha dos tipos de cenários a serem usados;
- 7) Desenvolvimento de uma base de dados referentes a informações passadas, presentes e futuras;
- 8) Identificação dos componentes estruturais e fatores que prejudicam o equilíbrio evolucionário e as tendências do sistema;
- 9) Descrição das tensões inerentes ao mecanismo funcional;

- 10) Análise dos elementos reguladores do sistema e de sua coerência;
- 11) Crítica e revisão de cenários através dos âmbitos das limitações, desequilíbrio, forças, tensões, contradições, intervenções dos elementos reguladores e colocação das contradições que afetam a sobrevivência do sistema;
- 12) Produção de um cenário aprimorado. Provavelmente, a melhor resposta para a questão da validade da abordagem do cenário é a de que ele é o único auxílio para a previsão do futuro. Suas conclusões podem ser amenizadas para uma interpretação razoável. Os resultados obtidos do cenário devem ser implementados primeiramente ou após um período curto, quando então o processo de planejamento deve ser revisto ou alterado.

A fase de estruturação tem como objetivo identificar gradativamente e de forma interativa, os pontos de ligação, agrupando e caracterizando o cenário e todos os elementos que inicialmente estavam dispersos. A identificação destes elementos, em um processo de apoio à tomada de decisão, é uma etapa que contribui no reconhecimento de pontos fundamentais, representando e refletindo opiniões e valores dos tomadores de decisão.

Existem diferentes propostas na maneira de conduzir a fase de estruturação. Uma das propostas se baseia fundamentalmente nos objetivos dos decisores, e a outra nas características das alternativas. A fase de estruturação pode ser iniciada tanto pelos objetivos dos decisores, como pelas características das alternativas. No caso das características das alternativas, é necessário decompor o conjunto destas características à exaustão (exigência irrealista), e em seguida evoluir para um trabalho de composição dos elementos. Já no caso dos objetivos gerais dos decisores, parte-se para a decomposição dos objetivos mais específicos.

4.3.1 Hierarquia

Como o próprio nome sugere a metodologia Analytic Hierarchy Process (AHP) estrutura um problema de decisão na forma de uma hierarquia. Esta é um tipo de sistema em que as variáveis estão agrupadas em arranjos ou níveis escalonados. Saaty destaca a importância da hierarquia na estruturação do pensamento humano. Dedicou-se a sua construção e à discussão matemática que ela envolve.

Uma hierarquia é uma estrutura acessível, usada para representar, de forma simplificada, o tipo de dependência de um nível ou elemento de um sistema com outro, de forma seqüencial.

A hierarquia é uma abstração da estrutura de um sistema, que pode tomar várias formas inter-relacionadas, todas essencialmente descendentes de um objetivo geral, abrindo-se em sub-objetivos, estendendo-se além das forças que afetam esses sub-objetivos, e até das pessoas que influenciam estas forças. Pode-se detalhar, ainda, objetivos das pessoas e, então, as suas políticas. Além disso, pode-se descer às estratégias e, finalmente, aos resultados que advêm de tais estratégias.

(Saaty, 1991).

Uma hierarquia é um tipo especial de sistema, que está baseado na idéia de que os elementos identificados podem ser agrupados em conjuntos distintos. Assim, os elementos de um grupo influenciam os elementos de apenas um outro grupo. Saaty (1991), salienta que os elementos de cada grupo (ou nível) da hierarquia são considerados independentes.

No AHP uma hierarquia é tradicionalmente linear, ou seja, uma hierarquia simples, subindo de um nível de elementos para um nível adjacente. No entanto, poderíamos ter uma hierarquia não linear. Ela apresentaria arranjos circulares, de modo que um nível superior poderia ser dominado por um nível inferior e, mesmo assim, estar numa posição dominante.

Uma forma simples de uma hierarquia é a decomposição desta em três níveis. Assim, tem-se:

- 1) Objetivo geral;
- 2) Critérios;
- 3) Alternativas.

Cada conjunto de elementos, com uma função definida, ocupa um nível na hierarquia. O nível mais elevado, chamado de foco, consiste somente de um elemento, o objetivo geral, ou meta. Níveis subseqüentes podem ter vários elementos, normalmente variando entre cinco e nove elementos. A estrutura de uma hierarquia simples é mostrada na Figura 4.2.

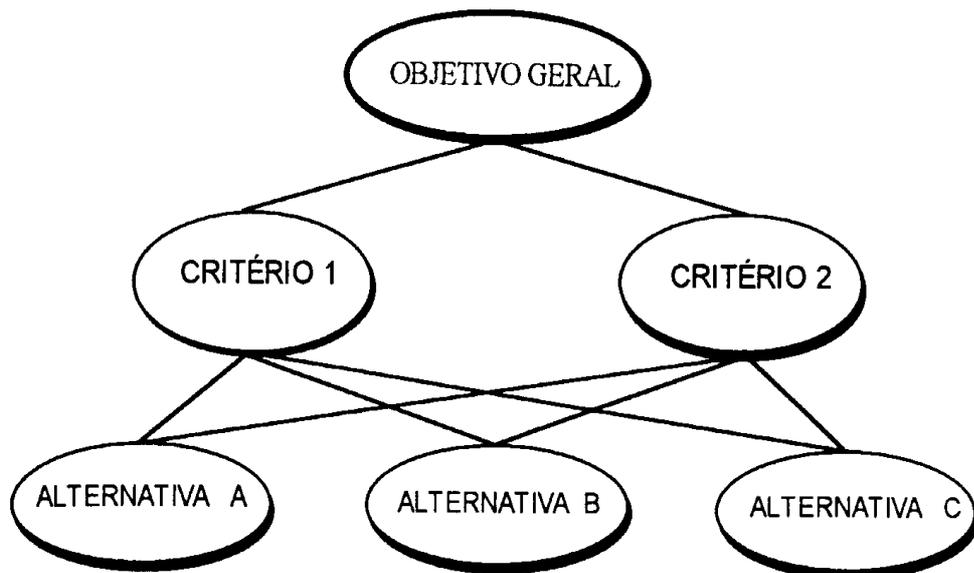


Figura 4.2 – Estrutura de uma Hierarquia Simples

Propõe-se que se observe o problema de decisão como uma árvore “virada” onde a raiz é o objetivo principal e, o caule, os ramos e as folhas, são os objetivos e critérios. Ao invés de todos os elementos serem tratados simultaneamente, deve-se tratar agrupamentos de elementos. Estes elementos representam prioridades e critérios, até se chegar ao objetivo geral.

Com o Analytic Hierarchy Process (AHP) busca-se a modelagem do mundo real hierarquicamente. Cada nível da hierarquia é formado por critérios ou objetivos que pertencem ao mesmo nível de importância. Este nível de importância é estabelecido pelos elementos que, de algum modo, são significativos em determinado grau.

A figura 4.3 mostra a decomposição de um problema real através de uma hierarquia simples. Neste caso, busca-se a satisfação com a aquisição de uma casa. Neste caso, busca-se a satisfação com a aquisição de uma casa.

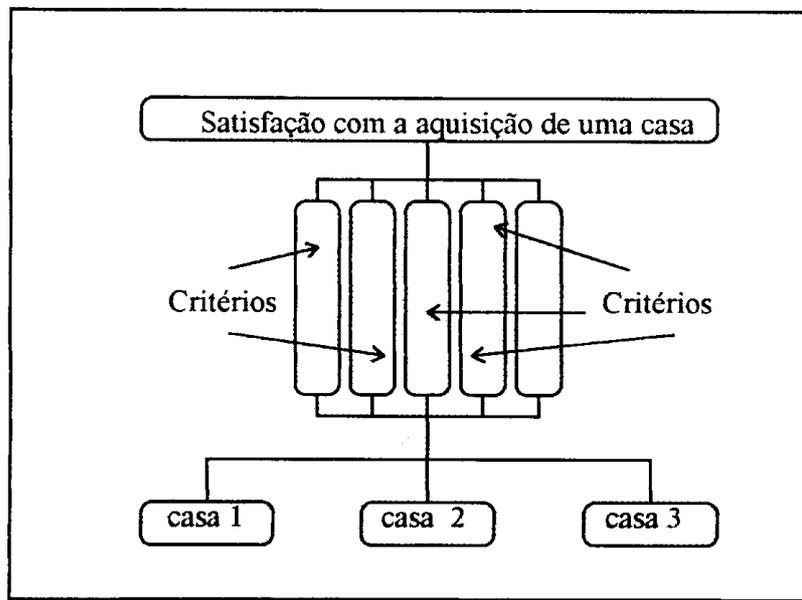
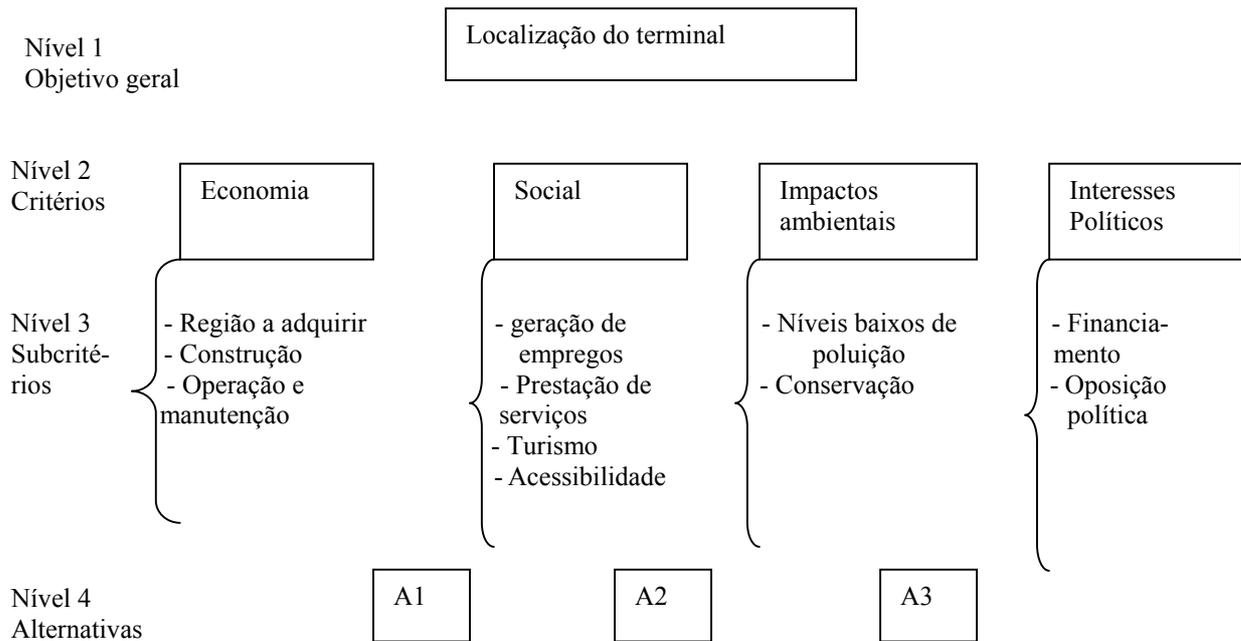


Figura 4.3 – Decomposição de um Problema através de uma Hierarquia Simples

A estrutura de uma hierarquia de quatro níveis é mostrada na Figura 4.4. Nesta hierarquia, que representa a localização de um aeroporto, o nível superior mostra o objetivo geral do problema. Os critérios gerais aparecem no segundo nível e são: custos econômicos, impactos sociais, impactos ambientais e interesses políticos. No terceiro nível esses critérios são decompostos em vários subcritérios, que podem influenciar na escolha da localização. Finalmente, o nível mais baixo da hierarquia representa várias alternativas de localização.



Fonte: Rabbani (1996)

Figura 4.4 – Estrutura de uma Hierarquia de Quatro Níveis

As estruturas apresentadas nas figuras anteriores são básicas. Podem ocorrer variações para outros tipos de hierarquia. Cada alternativa não precisa, necessariamente, estar relacionada com cada critério ou objetivo geral. O decisor, de acordo com seu problema em questão, pode retirar um nível ou elementos da hierarquia. O AHP possui uma grande versatilidade.

Para as hierarquias abrangentes e complexas, normalmente, pode-se incluir:

- 1) Objetivo geral;
- 2) Tempo de horizonte, se ele afeta a decisão;
- 3) Fatores ambientais: biológicos, físicos, químicos e outros;
- 4) Critérios gerais que incluem fatores econômicos, sociais, políticos, tecnológicos etc.
- 5) Subcritérios abaixo de cada critério;
- 6) Agentes e grupos que direcionam critérios e subcritérios;

- 7) Objetivos dos agentes;
- 8) Fatores em que os agentes exercem influência;
- 9) Pessoas afetadas com a decisão;
- 10) Objetivos das pessoas afetadas;
- 11) Medidas políticas das pessoas afetadas;
- 12) Trajetórias de ações de direção para contraste de cenários no planejamento.

Uma Hierarquia deve ser construída cuidadosamente, visto que, a estruturação de uma situação decisória é uma das mais importantes fases de todo o processo de decisão.

Segundo Saaty (1991), os resultados obtidos nas experimentações permitem supor que uma hierarquia bem construída será, na maioria dos casos, um bom modelo da realidade, mesmo que as realimentações realmente possíveis não sejam consideradas. O mesmo autor destaca algumas vantagens de se estruturar um problema de decisão hierarquicamente, são elas:

- 1) 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;
- 2) Elas dão grandes detalhes de informação sobre a estrutura e as funções de um sistema nos níveis mais baixos, permitindo uma visão geral de atores e de seus propósitos nos níveis mais altos. Limitações nos elementos de um nível são representadas melhor no nível mais alto seguinte para assegurar que elas sejam satisfeitas. Por exemplo, a natureza pode ser considerada como um ator cujos objetivos são o uso de certos materiais sujeitos a determinadas leis e limitações;

- 3) Os sistemas naturais montados hierarquicamente, isto é, através de construção modular e montagem final de módulos, desenvolvem-se muito mais eficientemente do que aqueles montados de um modo geral;
- 4) As hierarquias são estáveis e flexíveis: estáveis porque pequenas modificações têm efeitos pequenos; e flexíveis porque adições a uma hierarquia bem estruturada não perturbam o desempenho.

4.3.2 Como estruturar uma hierarquia

Uma hierarquia, como apresentado anteriormente, é um modelo que tenta ser fiel a uma situação real. A hierarquia representa a análise dos elementos mais importantes da situação, que está sendo analisada e das suas relações. Ela é uma ferramenta de apoio muito importante no processo de tomada de decisão.

De acordo com Saaty (1991), na prática, não existe um conjunto de procedimentos para gerar os objetivos, critérios e atividades para serem incluídos em uma estrutura hierárquica, ou mesmo num sistema em geral. Os objetivos são escolhidos para decompor a complexidade do sistema.

Normalmente, analisa-se, estuda-se, investiga-se a questão de tomada de decisão, para o enriquecimento de idéias. Na maioria dos casos, grupos de trabalho são formados. Esses grupos é que selecionam todos os conceitos relevantes ao problema em questão.

Inicialmente, as idéias consideradas relevantes ao problema de decisão são expostas aleatoriamente, sem nenhuma relação de ordem. Após questionamentos e análises mais aprofundadas é que pode ser formada a hierarquia propriamente dita.

Saaty (1991), adverte que pode existir um sistema, com alto grau de complexidade onde não será fácil encontrar a estrutura hierárquica que lhe corresponda. Neste caso, pode-se recorrer ao registro de todos os elementos relevantes para aquela hierarquia. Estes elementos podem ser, então, agregados em grupos de acordo com a dominância entre os grupos. Finalmente, esses grupos servirão como níveis hierárquicos.

Deve-se dedicar um tempo considerável ao estudo do problema de decisão. Não é aconselhável passar rapidamente por esta fase. Quando um indivíduo, ou grupo entende realmente todo o processo, conhece todos os fatores importantes e constantemente examina suas opiniões quanto a esses fatores. Desta forma, o processo de estruturação de uma hierarquia se torna mais fácil e confiável.

A priorização dos níveis mais altos da hierarquia deve ser feita cuidadosamente. São estes níveis que dirigirão o resto da hierarquia. Em cada nível, devem ser assegurados que os critérios representados são independentes ou, suficientemente diferentes. Essas diferenças podem ser tomadas como propriedades independentes no nível.

Quanto mais baixo o nível na hierarquia, espera-se maior diversidade de opiniões, visto que se caminha em direção ao nível operacional.

À medida que as pessoas concordam, tanto com o significado como com a importância dos elementos, mais recursos devem ser alocados para aquela área; à medida que as pessoas discordam sobre significado ou importância, seus julgamentos tendem à neutralização mútua enquanto a área tende a obter menor parte das ações até que maior suporte seja obtido.

(Saaty, 1991).

Nos casos de vários tomadores de decisão, o melhor modo de ocupar tal grupo, na estruturação da hierarquia, é escolher uma fundamentação menos ampla para a discussão, deixando que eles gerem a hierarquia livremente. Pode-se dividir o grande grupo em grupos homogêneos,

deixando que cada grupo apresente julgamentos naquelas partes da hierarquia que estão relacionadas com seu interesse.

Saaty (1991) destaca que os indivíduos devem ser alertados de que poderão sentir-se frustrados durante o processo de estruturação hierárquica; deverão, então, sair para dar uma volta ou participar de uma discussão em outra sala enquanto seu grupo continua, somente retornando à sua própria sala quando se sentirem revigorados. Isso evita que o processo se deteriore.

Em ambientes onde existe maior familiaridade com a questão, maior cooperação e colaboração dos participantes, o processo ocorre com maior facilidade. A estruturação de uma hierarquia ocorre mais rapidamente quando os participantes têm algo em comum, sejam:

- 1) mesmos objetivos;
- 2) contato pessoal mais duradouro;
- 3) trabalho em ambiente de aceitação social;
- 4) mesmo “status” enquanto participantes do processo.

[...] a interação de um grupo não é diferente de um casamento, sobre o qual as pessoas tendem a ter sentimentos românticos no começo, mas à medida que se envolvem, descobrem que existe grande parcela de conflito, pressão e ressentimento. No entanto, em geral, a vida continua, e existem pontos fundamentais de acordo e necessidades mútuas que mantêm as pessoas juntas [...].

(Saaty, 1991).

A fase da estruturação hierárquica, talvez seja a mais criativa de todo o processo de tomada de decisão com o AHP. Nesta fase, a escolha dos fatores importantes para a tomada de decisão é que exige maior atenção.

De acordo com Saaty (1991), as fases do processo de estruturação hierárquica são:

- 1) Descrição do problema;
- 2) Colocação do problema em um contexto amplo – se necessário, posicionando em um sistema maior, incluindo outros atores, seus objetivos e produtos;
- 3) Identificação do critério que influencia o desenrolar do problema;
- 4) Estruturação de uma hierarquia do critério, subcritério, propriedades das alternativas e as próprias alternativas;
- 5) Em um problema com muitas partes, os níveis podem referir-se aos ambientes, atores, objetivos e política dos atores e resultados, dos quais pode-se obter o resultado composto;
- 6) Definição cuidadosa de cada elemento da hierarquia para a remoção de ambigüidades;
- 7) Priorização dos critérios básicos com relação aos seus impactos no objetivo geral denominado foco.

A estruturação da hierarquia exige experiência e conhecimento do campo em que o problema de decisão em questão está envolvido. Os indivíduos, responsáveis pela tomada de decisão, podem estruturar diferentes hierarquias para um mesmo problema de decisão. No entanto, um grupo pode trabalhar em conjunto, discutindo pontos divergentes e, finalmente chegar a um consenso, criando uma hierarquia representativa.

Na estruturação de uma hierarquia existem alguns detalhes que devem ser levados em consideração, para que:

- 1) Represente-se o problema de tal modo que todos os elementos considerados importantes sejam incluídos;
- 2) O ambiente que envolve a questão possa ser incluído;
- 3) Os participantes associados com o problema possam ser identificados;

- 4) As considerações, características, atributos que contribuem para a solução possam ser identificados.

A estruturação hierárquica é um processo repetitivo onde os conceitos, as questões a serem avaliadas, as respostas associadas às questões, determinam os componentes e os níveis da hierarquia. A incerteza, em relação às questões levantadas, pode induzir a erros na construção de uma hierarquia.

Na estruturação hierárquica, primeiramente os elementos e níveis da hierarquia são identificados. Em seguida, utiliza-se estes elementos na formulação de questionamentos aos decisores. Se os decisores sentirem dificuldade em responder as questões levantadas, os níveis e conceitos podem não ser representativos e terão de ser reavaliados.

A figura 4.5 mostra um resumo da inter-relação entre os principais aspectos na estruturação de uma hierarquia.

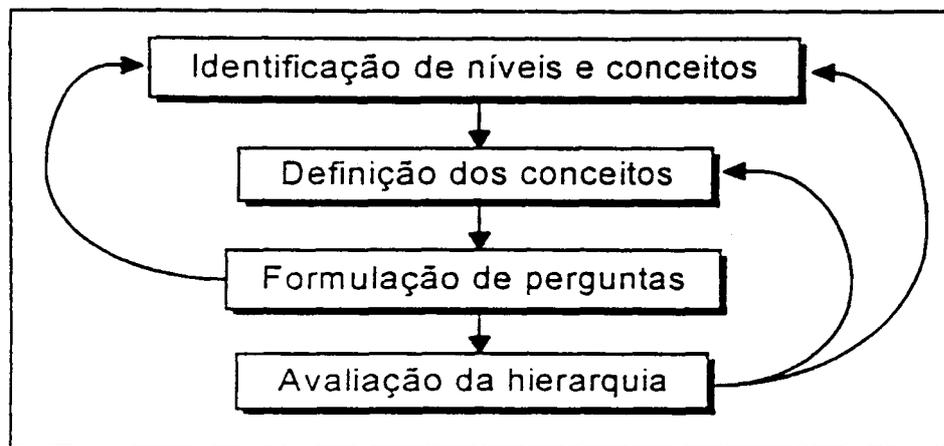


Figura 4.5 – Resumo da Inter-relação entre Componentes na Construção Hierárquica

A estruturação de uma hierarquia sempre tem que visar o objetivo geral. Assim, construída a hierarquia, deve ser possível identificar o problema de decisão e seus elementos mais importantes. Logo, a hierarquia é uma ferramenta auxiliadora, fundamental no processo de tomada de

decisão. Neste sentido, a hierarquia tem que ser clara e suscetível às mudanças necessárias.

Segundo Rabbani (1996), a estruturação hierárquica de uma situação decisória é uma parte muito importante em todo processo de decisão. A estrutura de uma decisão depende de como o problema é percebido, por quem ele é percebido e, o objetivo da solução. Depende da criatividade e experiência dos envolvidos no processo, que podem desenvolver estruturas cada vez mais elaboradas.

Delinear uma hierarquia força o tomador de decisão a analisar completamente a estrutura de um problema de decisão. Assim, ele articula e discute a contribuição de cada elemento da hierarquia. O resultado do processo de decisão depende fortemente desta fase. A fase de modelagem dos elementos pode ser gerada por dedução lógica, observação de casos, dados empíricos, discussão de idéias, ou por combinação destes elementos.

Saaty (1990) *apud* Rabbani (1996), faz uma distinção entre dois tipos de hierarquia: estrutural e funcional.

Hierarquia estrutural – Complexos sistemas são estruturados a partir de suas partes constituintes, em ordem descendente. Esta estruturação é feita segundo propriedades como tamanho, forma, cor e período de duração.

Uma estrutura hierárquica de um sistema de transportes poderia descender de um sistema de transporte urbano, para um transporte de passageiros, para um transporte público de passageiros e, finalmente, para o usuário individual do sistema.

A natureza da dependência, na hierarquia relatada, completa o modo de uma análise complexa se quebrar em ramos e subramos de elementos até chegar em partes menores.

Hierarquia funcional – Representa a decomposição de um sistema em suas partes constituintes de acordo com suas relações essenciais.

Um modelo do AHP aplicado à segurança de estradas e prevenção de acidentes, pode ser estruturado em ramificações de proprietários de imóveis próximos ao local, pedestres, motoristas, proprietários de veículos, e a sociedade como um todo. Um ramo de objetivos de proprietários de imóveis próximos ao local pode ser estendido para: diminuição no congestionamento e tempo de viagem, segurança dos pedestres, incremento no valor imobiliário, etc.

Por sua vez, uma hierarquia funcional pode ser completa e incompleta.

Hierarquia funcional completa – Todos os elementos de um nível são parte de cada propriedade do nível mais próximo acima.

Hierarquia funcional incompleta – Alguns elementos em um nível não são parte de todas as propriedades.

Uma hierarquia é uma abstração da estrutura de um sistema, que pode ser usada para estudar as interações funcionais de seus componentes. Além disso, pode servir como forma de avaliação dos impactos no sistema como um todo.

Não existem regras invioláveis na estruturação de uma hierarquia. Cada tomador de decisão, segundo seu problema de decisão, tem o poder de formar a própria hierarquia para sua questão.

De acordo com Rabbani (1996), existem duas maneiras de se estruturar uma hierarquia, **top – down**(do nível mais alto em direção ao nível mais baixo) e **bottom – up**(do nível mais baixo em direção ao nível mais alto).

Top - down – Envolve primeiramente a especificação dos objetivos das partes para então a especificação dos objetivos.

Bottom - up – Inicia-se pelo desenvolvimento do conjunto de alternativas e, a estruturação da árvore diretamente em sucessivas ramificações de elementos em níveis inferiores.

Buede (1986) *apud* Rabbani (1996), argumenta que o processo *top - down* é mais apropriado para decisões estratégicas, onde somente o objetivo geral é conhecido. O processo *bottom - up* é mais apropriado para decisões táticas, operacionais, onde as alternativas atuais já são conhecidas.

4.3.3 Estruturação de uma hierarquia em planejamentos Forward e Backward

O planejamento é uma atividade dinâmica e direcionada a objetivos, relacionando-se com a modificação de um sistema a partir de um resultado provável de ocorrer, para um resultado que se deseja que ocorra. A situação final provável é o cenário ou estado resultantes do sistema, definido a partir de um estado existente e dos atores que buscam atingir seus objetivos.

Saaty (1991), define o processo Forward como sendo um método de estimativa de um futuro provável. É um processo descritivo do que pode acontecer. O resultado desejado é obtido aplicando-se diretrizes para influenciar os atores e remover os obstáculos no caminho deste resultado. O mesmo autor define o planejamento Backward como sendo um processo descritivo ou normativo. A eficiência na mudança de objetivos é testada no processo Forward para verificar se o futuro resultante pode ser mais próximo do futuro desejado.

Segundo Saaty (1991), existe uma interação repetitiva de projetar para frente e para trás, através de uma política de improvisação. É deste

modo que o processo de limites entre dois pontos é fixado para o futuro desejado e o futuro provável.

O mesmo procedimento pode ser usado para produzir resultados estáveis em uma situação de conflito. A resolução do conflito está relacionada com a melhoria de posição de cada uma das partes envolvidas, a partir de uma situação existente, para uma situação desejada. As interações têm de considerar as disponibilidades de diretrizes de cada uma das partes, assim como limites para estas diretrizes de um modo simultâneo para as ações.

Os processos de planejamento Forward e Backward envolvem os fatores tempo e incerteza. Estes processos são usados para identificar necessidades e alocação de recursos, com a finalidade de atingir objetivos.

No geral, a estruturação de uma hierarquia, em planejamentos, é desenvolvida de níveis mais abrangentes para níveis mais particulares. Pode-se dizer que ela se desenvolve de níveis de incerteza para níveis de maior controlabilidade.

As hierarquias têm sido reconhecidas como sendo usadas em ambiente dinâmico e em situações de incerteza. Quando se trata com ambiente dinâmico, deve-se incluir o tempo como um nível da hierarquia, e quando trata-se com incerteza os cenários. Geralmente, o nível do tempo está localizado acima do nível dos cenários.

O processo Forward parte do presente para o futuro por meio da hierarquia, a qual normalmente contém níveis como:

- Tempo Horizontal;
- Cenários Ambientais;
- Decisores;
- Objetivos dos Decisores;

- Objetivos Políticos;
- Projeção de Cenários.

O processo Backward se estende do futuro para o presente através da hierarquia, esta tem níveis como:

- Cenário Desejado;
- Problemas, Oportunidades;
- Decisores;
- Objetivos, opções;
- Políticas.

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

Normalmente, o planejamento para um processo, sobre o qual se tenha controle, usa as interações descritas anteriormente. No entanto, podem existir ainda outros aspectos do planejamento que envolvem simplesmente explorações dos processos Forward e Backard.

4.4 O PRINCÍPIO DOS JULGAMENTOS COMPARATIVOS (AVALIAÇÃO)

Após a fase de estruturação de uma hierarquia, ou seja, de um sistema de níveis estratificados, cada um consistindo em tantos elementos, ou fatores; Tem-se uma questão a ser determinada: com que peso os fatores individuais do nível mais baixo da hierarquia influenciam seu fator máximo, o objetivo geral?

[...] o que nós precisamos ainda é um método para determinar a força com a qual os vários elementos num nível influenciam os elementos do nível mais alto seguinte, de modo que possamos computar as forças relativas dos impactos dos elementos sobre o nível mais baixo e sobre os objetivos gerais [...].

(Saaty, 1991).

A questão principal é como determinar a “intensidade”, ou as prioridades dos elementos de um nível em relação à sua importância para um elemento no nível seguinte. É necessário um método para determinar a força com a qual os vários elementos influenciam outros elementos, de forma que se possa obter a força relativa dos impactos sobre o objetivo geral.

No AHP, os julgamentos são feitos no modo de pares de comparação. Assim, o tomador de decisão, de posse da estrutura hierárquica, realiza pares de comparações relativas entre dois elementos de um determinado nível em relação a um elemento de um nível superior.

O decisor, na fase de avaliação, responde a seguinte questão: **Qual elemento satisfaz mais e o quanto mais?** O conjunto de todas as comparações, realizadas par-a-par, forma as matrizes de valores.

A estruturação hierárquica permite focar os julgamentos separadamente, nas particularidades essenciais da decisão. A maneira mais eficiente de realizar os julgamentos, é tomar um par de elementos e compará-los em relação a uma única propriedade.

As comparações aos pares são usadas para determinar a prioridade dos critérios, em relação ao objetivo principal. Normalmente, os pares de comparação são executados através de uma hierarquia contida nas alternativas dos níveis mais baixos, em relação ao critério do nível mais alto.

O princípio dos julgamentos comparativos consiste no seguinte: tomando-se os elementos de um nível, compara-se todos deste nível par-a-

par, com cada um dos elementos do nível imediatamente superior, medindo-se a intensidade de sua importância. Este princípio auxilia o tomador de decisão munindo-o de um método padronizado de exercer as comparações.

A quantificação dos julgamentos, realizados par-a-par, é feita com a ajuda de uma escala padronizada. A escolha dos pesos pode ser feita a partir da escala numérica ou da equivalente escala qualitativa. A escala de julgamentos de nove níveis, proposta por Saaty, é apresentada a seguir:

Tabela 4.1 - Escala de Julgamentos do AHP

DEFINIÇÃO	ESCALA NUMÉRICA	ESCALA QUALITATIVA
Não existe diferença de contribuição entre os elementos comparados, ao elemento do nível superior adjacente	1	Elementos iguais
A contribuição de um dos elementos é levemente superior a do outro	3 ou 1/3	Fraca importância de um elemento sobre o outro
Um elemento é fortemente dominado pelo outro	5 ou 1/5	Importância forte de um elemento sobre o outro
É notório a preferência de um elemento sobre o outro	7 ou 1/7	Importância muito forte de um elemento sobre o outro
A contribuição de um elemento domina em absoluto	9 ou 1/9	Importância absoluta de um elemento sobre o outro
Servem para se obter uma maior precisão nos julgamentos	2 (1/2), 4 (1/4), 6 (1/6), 8 (1/8)	Valores intermediários

Saaty tem demonstrado que se pode usar os números de 1 a 9 para representar, aproximadamente, as comparações de elementos homogêneos.

O número um indica que os dois elementos que estão sendo comparados são de igual importância. No final da escala, o número nove, indica que o primeiro item é extremamente mais importante que o segundo. Por exemplo, referindo-se a julgamentos, se C1 é fracamente preferível que C3, então é dado o valor 3 para a comparação entre C1 e C3, que indica que C1 é três vezes preferível que C3. Ao contrário, o valor comparativo de C3 em relação a C1 deve ter o valor recíproco de $1/3$.

Estas comparações são o modo de representar a intensidade da relação entre dois itens. Elas dão suporte exato para as relações de medida, quando estas são usadas diretamente para representar a comparação.

A escala 1-9 e seus valores recíprocos permitem apreender a intensidade da relação que, normalmente, é descrita em termos qualitativos: igual ou indiferente (1), fraca (3), forte (5), muito forte (7), e absolutamente forte (9).

Os valores 2, 4, 6, e 8 são usados quando um julgamento “tende” entre dois valores ímpares. Na matriz de valores, para a comparação de um item com ele mesmo, é dado o valor 1 (um).

Além da relação recíproca, existem outras questões a serem consideradas como a transitividade: se C1 é preferível em relação a C2, e C2 é preferível em relação a C3, então C1 deve ser preferível em relação a C3.

4.4.1 Por que usar uma escala 1-9?

Este item conduz à questão de porque o AHP usa uma escala de 1 a 9, em vez de uma outra escala qualquer possível. É mostrado que esta escala é melhor do que qualquer outra escala, pois esta apresenta a vantagem de ser simples e muito natural.

A questão é, portanto, por que usar os valores 1-9? Assim, será mostrado que estes valores são, na verdade, mais fáceis e preferíveis que outros.

Saaty (1991), cita várias razões para que se estabeleça esta escala de julgamentos. Assim, tem-se:

- 1) As distinções qualitativas são significativas na prática e têm uma característica de precisão, quando os itens comparados apresentam a mesma ordem de magnitude ou estão próximos com relação à propriedade usada para fazer a comparação.
- 2) Nota-se que a habilidade do ser humano para fazer distinções qualitativas é bem representada por cinco atributos; igual, fraco, forte, muito forte e absoluto. Pode-se estabelecer compromissos entre atributos adjacentes quando uma precisão maior for necessária. A totalidade requererá 9 valores e eles podem ser consecutivos – a escala resultante seria, então, validada na prática.
- 3) Com a finalidade de reforçar o item 2, um método prático frequentemente usado para avaliar itens tem sido a classificação de estímulos em uma tricotomia de sentimentos: rejeição, indiferença, aceitação. Para melhor classificação, cada um destes será dividido em uma tricotomia: baixo, médio, alto. Ao todo, são indicadas 9 áreas de distinções significativas.
- 4) O limite psicológico de 7 ± 2 itens em uma comparação simultânea sugere que ao se tomar mais do que $7 + 2$ itens satisfazendo a descrição no item 1, e se eles diferirem entre si levemente, o ser humano precisará de 9 pontos para distinguir estas diferenças.

Como já destacado no trabalho, a habilidade de diferenciação do ser humano é bastante limitada. Quando existe alguma disparidade considerável entre os objetos ou atividades sendo comparados, as afirmações

do ser humano tendem a ser arbitrárias e, na maioria dos casos, bem distantes da realidade.

A escala deve ser bem restrita às regiões que refletem a capacidade real do ser humano fazer distinções. Sendo a unidade o padrão natural de medidas, o limite superior da escala não deve ficar muito longe da unidade, mas o suficiente para representar o alcance de comparação do ser humano.

De acordo com Saaty (1991), a escala de 1 – 9 distingui-se fortemente de qualquer outra. Esta, parece indicar uma forte afinidade humana para criar correspondência entre a variação de suas impressões e os números 1 – 9.

Saaty (1991) salienta ainda que, existem algumas pessoas que propõem que as variações tenham alguma relação com a capacidade da mente, e que esta capacidade tenha algo a ver com o número de dedos. No entanto, não é conhecido o fator que causa tal relação. Sob a suposição que o cérebro humano pode processar 7 ± 2 fatores simultaneamente, matrizes de valor muito grandes podem ser hierarquicamente decompostas em grupos de tamanho tal que a escala 1-9 possa ser aplicada.

4.4.2 Os julgamentos

No Analytic Hierarchy process (AHP) os julgamentos são realizados na forma de pares de comparação. O tomador de decisão transforma a informação a ser avaliada através de comparações aos pares entre alguns elementos da decisão.

Usando de julgamentos com pares de comparações pode-se lidar com fatores os quais, em suas aplicações mais conhecidas, não são

quantificados. No entanto, deve ser levado em consideração o fato de existir uma certa imprecisão quando números são associados a julgamentos.

A seguir será descrito um exemplo de um problema e seu processo de julgamento fornecido por Saaty (1991):

Suponhamos que nos seja dado um conjunto de objetos que sejam suficientemente leves e que possam ser levantados com a mão. E que, apesar da falta de um instrumento de medida, queiramos estimar seus pesos relativos.

Um modo possível seria tentar imaginar o peso desses objetos diretamente em gramas, por exemplo, levantando-os (talvez usando o mais leve deles como padrão) comparando todo o conjunto e, então, dividindo o peso de cada um pelo total para obter o seu peso relativo.

Outro método que mais bem utiliza a informação disponível é a experiência de comparar os objetos em pares, levantando um, depois outro e, então, levantando de novo o primeiro e o segundo, e assim por diante, até que tenhamos formado um julgamento quanto ao peso relativo de cada par de objetos. Este segundo processo tem a vantagem de focalizar exclusivamente dois objetos de cada vez e como eles se relacionam entre si. Tem também a vantagem de gerar mais informação, uma vez que cada objeto é comparado com cada um dos outros.

Quando não há qualquer escala para validar os resultados, a comparação par a par pode ser uma grande vantagem porque, apesar de envolver mais passos, eles são mais simples.

As comparações paritárias são obtidas por questionamentos diretos às pessoas envolvidas no problema de decisão a ser analisado. O conjunto de pessoas envolvidas no processo de decisão pode ser formado de um único indivíduo, se o problema é do seu interesse apenas, ou de um

grupo de indivíduos. Estas pessoas podem ou não ser especialistas, no entanto têm de estar bem familiarizadas com o problema.

O processo de julgamento segue da seguinte forma:

Dado os elementos de um nível hierárquico, e desejando-se construir a matriz de comparações paritárias entre esses elementos, os indivíduos que apresentam julgamentos são questionados com o seguinte tipo de pergunta: dado um par de elementos da matriz, qual deles seria o mais dominante em termos de possuir ou contribuir para a propriedade em questão? Quão forte é essa dominação: igual, fraca, forte, muito forte ou absoluta, ou representa compromisso entre valores adjacentes nesta comparação de intensidades?

A questão deve ser elaborada de maneira cuidadosa para evocar o julgamento ou sentimento dos indivíduos envolvidos.

Quando o conjunto inteiro de julgamentos tiver sido obtido, as pessoas serão indagadas sobre quão fielmente elas sentem que seu entendimento e julgamentos foram representados.

Os participantes deverão ser consultados sobre sua opinião a respeito de quão adequada é a estruturação hierárquica de seu problema, e a representação de seus julgamentos.

Em grupos, se os indivíduos diferem seus julgamentos, deve ser permitido que discutam entre si. Em alguns casos, um grupo inteiro mudou sua posição após ouvir as razões dadas por um único indivíduo.

Saaty (1991), alerta que a falta de inclinação para discriminar dois elementos de um problema de decisão, freqüentemente significa que os indivíduos consideram a propriedade igualmente forte entre os dois elementos.

Os julgamentos, de maneira geral, são difíceis de serem manipulados e altamente variáveis. No entanto, pode-se avaliar a consistência desses julgamentos e sua validade.

4.4.3 A matriz de julgamentos e a análise de consistência

Após a realização das comparações aos pares, os resultados obtidos com os julgamentos são colocados numa matriz **A** quadrada **n x n**. Este procedimento se repete para todos os elementos do nível, em relação a todos os elementos de um nível superior.

A matriz quadrada **A** apresenta-se desta forma:

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

Os elementos a_{ij} são definidos da seguinte forma:

$$a_{ij} > 0$$

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

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

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

Sendo **n** o número de elementos da matriz **A**, o número de julgamentos necessários para a construção da matriz é **$n(n-1) / 2$** .

Cada julgamento a_{ij} deve ser considerado como uma estimativa da razão entre os elementos da linha de ordem **i** e os elementos da coluna de ordem **j**.

Supondo que (w_1, \dots, w_n) são estimativas precisas, ou seja, no caso ideal de medida exata, todos os elementos da matriz são consistentes, isto é, $a_{ij} = w_i / w_j$ (para $i, j = 1, 2, \dots, n$).

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:

$$a_{ij} = w_i / w_j$$

$$a_{ij} \times a_{jk} = a_{ik}$$

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

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: $w_i/w_1; w_i/w_2; \dots; w_i/w_j; \dots; w_i/w_n$.

Multiplicando-se o primeiro elemento por w_1 , o segundo por w_2 , e assim por diante, obtêm-se:

$$\frac{w_i}{w_1} \times w_1 = w_i; \quad \frac{w_i}{w_2} \times w_2 = w_i; \quad \dots; \quad \frac{w_i}{w_j} \times w_j = w_i; \quad \dots; \quad \frac{w_i}{w_n} \times w_n = w_i$$

Tem-se então uma linha de elementos idênticos, w_i, w_i, \dots, w_i .

Assim,

w_i é igual à média dos valores da linha de ordem i ,
 $w_i = a$ 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:

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

o que é equivalente a: $a_{ij} = \frac{w_i}{w_j}$

$$a_{ij} \times a_{jk} = a_{ik}$$

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

Efetuando-se a multiplicação de \mathbf{A} pelo vetor de pesos $\mathbf{w} = (w_1, w_2, \dots, w_n)^T$, obtem-se $n\mathbf{w}$. Em teoria matricial, esta igualdade expressa o conceito 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 a transposta de \mathbf{A} e é igual a n . Assim, n é o maior 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-se pela sua soma.

Entretanto, na prática, estas relações não significam o caso geral. A imposição destas relações restritas tornaria insolúvel, na maioria dos casos práticos, o problema de encontrar \mathbf{w}_1 , quando \mathbf{a}_{ij} é dado. Assim, tem-se a necessidade de uma tolerância para desvios, principalmente no que se refere a julgamentos humanos, em que estes desvios são consideravelmente maiores.

Como os \mathbf{a}_{ij} são valores baseados em julgamentos subjetivos, \mathbf{a}_{ij} é diferente de $\mathbf{w}_i / \mathbf{w}_j$,

Logo:

$$\mathbf{w}_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \mathbf{a}_{ij} \times \mathbf{w}_j \times \varepsilon_{ij} \quad (i = 1, \dots, n) \text{ e } (j = 1, \dots, n)$$

ε_{ij} é o espelhamento estatístico em volta de \mathbf{w}_i , isto é, ε_{ij} é o desvio de $\mathbf{w}_i/\mathbf{w}_j$ de \mathbf{a}_{ij} ,

Portanto:

$$\mathbf{w}_i = \sum_{j=1}^n \mathbf{a}_{ij} \times \mathbf{w}_j \times \frac{\varepsilon_{ij}}{n}, \quad (i = 1, \dots, n) \text{ e } (j = 1, \dots, n)$$

onde, para o caso geral, tem-se:

$$\frac{\varepsilon_{ij}}{n} = \frac{1}{\lambda_{\max}} \therefore \lambda_{\max} = \frac{n}{\varepsilon_{ij}}$$

Assim, uma pequena variação de a_{ij} , implica em pequenas variações em λ_{\max} . Então, para uma matriz qualquer de ordem n existem no máximo n autovalores distintos, $(\lambda_1, \dots, \lambda_n)$, a sua soma será $\sum_{i=1}^n \lambda_i = n$.

No caso de consistência total, n será o maior autovalor de \mathbf{A} , isto significa que $\lambda_{\max} = n$, e implica em $\varepsilon_{ij} = 0$ e $a_{ij} = w_i/w_j$. Deste modo, o desvio de λ_{\max} a partir de n é uma medida de consistência.

O índice de consistência é calculado pela equação:

$$\mathbf{IC} = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1).$$

O índice de consistência 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), o conceito de consistência está baseado na idéia de que, quando uma quantidade básica de julgamentos de uma matriz foram feitos, todos os outros dados podem ser logicamente deduzidos deles.

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

O \mathbf{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 $a_{ij} = 9$, então na posição $a_{ji} = 1/a_{ij} = 1/9$. 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 4.2 mostra a ordem das matrizes com os seus **IR's** correspondentes.

Tabela 4.2 – Índices Randômicos

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
IR	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 quanto os julgamentos representam a realidade.

De acordo com SAATY (1991), uma razão de consistência de 0.10 ou mais é considerada aceitável.

No caso de não se obter a razão de consistência esperada, deve-se melhorar a qualidade dos julgamentos.

Após a realização dos 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.

Os elementos de um nível hierárquico são comparados, relativamente, de acordo com a sua importância, 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 no nível acima.

4.5 O PRINCÍPIO DA SÍNTESE DAS PRIORIDADES

Após a fase de estruturação do problema em forma de hierarquia, e a fase da realização dos julgamentos terem sido efetuadas, a fase seguinte consiste em calcular o vetor prioridade da matriz dada. A matriz é calculada através do método de autovetor e autovalor.

Problemas de autovetor e autovalor, só são possíveis de serem resolvidos, de forma geral, por meio de matemática computacional. Dada uma matriz quadrada \mathbf{R} de ordem n , com $a_{ij} \in \mathfrak{R}$, um *autovalor*, ou valor característico de \mathbf{A} , é qualquer constante $\lambda \in \mathbf{C}$, que satisfaz a equação $\mathbf{Aw} = \lambda\mathbf{w}$, 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 $\mathbf{Aw} = \lambda\mathbf{w}$, resulta que: $(\mathbf{A} - \lambda)\mathbf{X} = \mathbf{0}$, 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 heurísticas para a determinação do autovetor e autovalor:

PRIMEIRA

Multiplica-se os n elementos em cada linha e toma-se a raiz n -ésima. A seguir, normaliza-se a coluna dividindo-se cada número da matriz pela soma de todos os números.

SEGUNDA

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.

TERCEIRA

Partindo-se da soma dos elementos em cada coluna, 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.

QUARTA

Somam-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 o valor um. 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 exatas, 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 λ_{\max} , **RC**, **IC**, pelas quatro formas. Os resultados das matrizes em questão só são considerados, quando pelo menos por um dos métodos o **RC** for menor ou igual a 10%.

No próximo capítulo será feita uma aplicação prática da metodologia descrita aqui. Assim, o Analytic Hierarchy Process (AHP) será aplicado em um estudo de caso de priorização de traçado de pavimentação de uma estrada.

CAPÍTULO V

5. APLICAÇÃO PRÁTICA

5.1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo apresenta-se uma aplicação da metodologia multicritério Analytic Hierarchy Process(AHP) que ressalta a possibilidade de utilizá-la nas mais diversas áreas do conhecimento. Neste sentido, aplica-se a metodologia na definição de prioridades para o traçado de pavimentação de uma determinada estrada.

A pavimentação de uma estrada pode contribuir significativamente no desenvolvimento do sistema de transportes de uma determinada região e, conseqüentemente, no desenvolvimento econômico e social da mesma.

No Brasil, um grande número de estradas não são pavimentadas, sendo que muitas das que estão pavimentadas necessitam de recuperação ou ampliação.

Santa Catarina está inserida neste contexto, sendo que, com o programa BID IV, pretende-se pavimentar aproximadamente 500 km de rodovias e reabilitar 850km. Para atingir estes objetivos estão previstos investimentos da ordem de US\$ 300 milhões em 5 anos. (DER-SC).

Em vista disso, este trabalho visa fazer um estudo, no estado de Santa Catarina, focalizando um determinado trecho rodoviário a ser pavimentado. Pretende-se levantar os critérios que definem as prioridades para o traçado de pavimentação, sob o ponto de vista de alguns especialistas do DER-SC. Neste sentido, as alternativas de um trecho específico de traçado de pavimentação serão analisadas. Sendo que, ao

final, será feita uma comparação entre os resultados desta aplicação e os resultados obtidos, para o mesmo trecho, pelo DER-SC anteriormente.

O trecho, objeto deste estudo, situa-se na microrregião de associação dos municípios do Médio Vale do Itajaí, seguindo no sentido leste para oeste, pouco a norte da cidade de Blumenau.

O projeto de pavimentação refere-se à rodovia SC 418 que, neste trecho, tem seu início na SC 474 em Vila Itoupava e termina na SC 416 na cidade de Pomerode.

A rodovia SC-418, no trecho SC-416-Vila Itoupava, ligando os municípios de Pomerode e Vila Itoupava, desenvolve-se no sentido sudoeste-noroeste, acompanhando em grande parte o rio Itoupava Rega.

A figura 5.1 mostra a localização da situação objeto deste estudo no Estado de Santa Catarina.

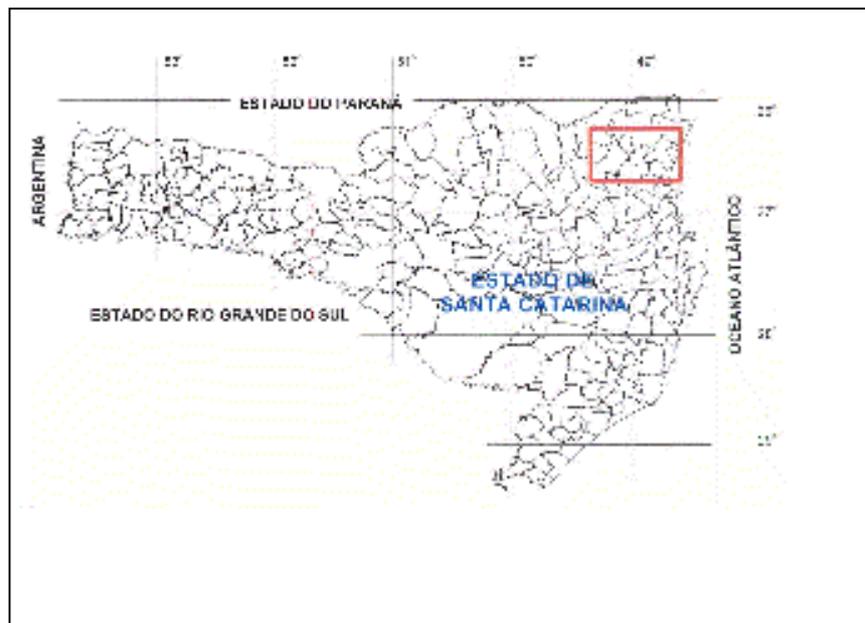


FIGURA 5.1- Localização em Santa Catarina da situação objeto de estudo

A figura 5.2 mostra o trecho SC-474 (Itoupava) – SC-416(Pomerode).

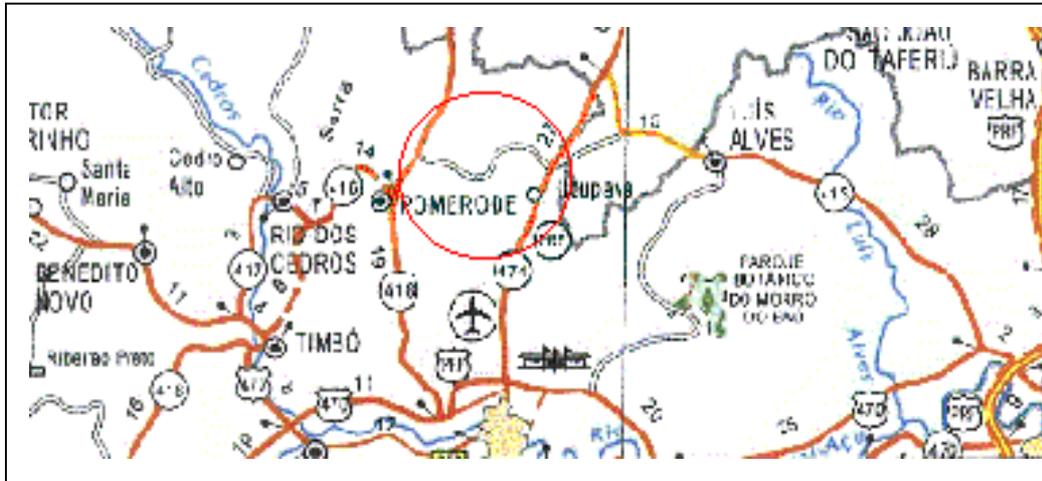


FIGURA 5.2- Localização do trecho objeto de estudo

A Vila Itoupava fica a oeste da SC-474, rodovia que liga Massaranduba e Blumenau, distando 27km desta, enquanto a cidade de Pomerode está situada a norte de Blumenau.

O trecho está assentado sobre as rochas e solos correspondentes ao Complexo Granulítico de Santa Catarina, sendo interrompida ocasionalmente por sedimentos quaternários. (Relatório 2 – Consórcio Kocks/Prosul – 1996).

Segundo o mesmo relatório, o tráfego para o trecho é de aproximadamente 740 veículos por dia para o ano de 2006, com uma taxa de tráfego pesado da ordem de 11%.

As principais características da rodovia nas condições atuais e nas condições previstas, após a execução das obras, estão apresentadas nas tabelas 5.1 e 5.2.

Tabela 5.1 – Principais dados da rodovia existente

Parâmetros	Unid.	Parâmetros do trecho Existente
Geometria		
Largura de Pista	m	7,00
Largura do acostamento	m	0
Nº de faixas	ud	2
Aclive + Declive	m/km	35,10
Curvacidade	°/km	282,26
Altitude	m	150,0
Pluviometria	m/mês	0,15
Superfície		
Tipo de Superfície	descrição	Rev. Primário
Espessura Camada de Revest.	mm	200
Irregularidade	IRI	20
Tamanho Máximo das partículas	mm	6
Subleito		
Tamanho Máximo das Partículas	mm	3
Índice de Plasticidade	%	23

Tabela 5.2 – Principais dados da rodovia situação futura

Parâmetros	Unid.	Valores futuros
Período de construção	Nº de anos	2
Construção Ano 1	%	30
Construção Ano 2	%	70
Geometria		
Largura de Pista	m	7,00
Largura de Banqueta	m	1,5
Nº de faixas	ud	2
Aclive + Declive	m/km	30,7
Curvacidade	°/km	177,2
Superfície		
Tipo de Superfície	descrição	CAUQ
Espessura camada nova	mm	37
Tipo de base	descrição	B.G
Subleito		
CBR do subleito	%	8

A região tem característica agropastoril, apresenta uma agricultura explorada em pequenas propriedades, utilizando a mão de obra familiar. Existe um grande número de outras atividades para o auto consumo, cujos excedentes são comercializados.

As principais culturas agrícolas existentes na região são: banana, arroz, batata doce, fumo, mandioca e milho.

São poucas as áreas de reflorestamento na região, insignificantes em relação as formações vegetais naturais.

A região vem apresentando um crescimento de seu parque industrial devido, principalmente, a descentralização do setor no município de Blumenau.

A área em estudo tem características diversificadas, possui propriedades urbanas, áreas povoadas e também áreas voltadas para as atividades agrícolas e agropecuárias.

Assim, o sistema de transporte rodoviário deste trecho demonstra importância relevante para a região, permitindo e facilitando a distribuição e o escoamento de toda a produção agrícola, assim como, a maior locomoção da população residente.

A população é formada basicamente por imigrantes europeus, de origem alemã, italiana e polonesa. A distribuição populacional vem demonstrando um deslocamento intensivo da população rural para áreas urbanas.

O trecho, que tem seu início na SC 474 em Vila Itoupava e termina na SC 416 na cidade de Pomerode, possui, fundamentalmente, três alternativas com características quantitativas e qualitativas distintas. Devido a esta situação, o traçado para a futura pavimentação tem de ser analisado cuidadosamente. Neste sentido, este é o objetivo principal da aplicação prática deste trabalho.

Esta aplicação não pretende ser uma evidência conclusiva, mesmo porque seria necessária uma maior abrangência, envolvendo não apenas especialistas do DER, mas também atores de outros setores como por exemplo: as comunidades envolvidas, Prefeituras, representantes ligados ao meio ambiente, etc. No entanto, os especialistas envolvidos fornecem indicativos significantes dos critérios a serem levados em consideração quando da avaliação.

Para a realização da aplicação, contactou-se com alguns engenheiros do DER-SC, dentre os quais quatro se mostraram dispostos a participar do trabalho a ser desenvolvido. O primeiro passo foi apresentar-lhes o método AHP, dando-lhes uma visão geral sobre a metodologia e também sobre a proposta de aplicá-la em um estudo de caso de traçado de

pavimentação. Em seguida, partiu-se na direção da estruturação e hierarquização do problema em questão.

5.2- ESTRUTURAÇÃO E HIERARQUIZAÇÃO

A fase de estruturação pode ser considerada a mais importante no processo de apoio à decisão. Na estruturação procura-se construir um modelo por meio do qual é possível avaliar as diversas alternativas.

Avaliar as alternativas, as várias opções de traçado num caso de pavimentação, é o objetivo do modelo de avaliação a ser desenvolvido aqui. Neste sentido, é necessário que durante as fases de estruturação e avaliação, os participantes tenham bem claro o objetivo principal do modelo de avaliação a ser desenvolvido.

ETAPAS NA ESTRUTURAÇÃO DO PROBLEMA

i) Definição dos elementos primários de avaliação:

Os elementos primários de avaliação são todos os aspectos considerados importantes pelos decisores para a tomada de sua decisão. São formados por objetivos, metas, valores dos decisores, ações, opções e alternativas que permitem o início da construção da árvore hierárquica.

A metodologia usada nesta etapa foi a realização de “brainstormings” com os decisores para que : a) todos os elementos primários de avaliação que viessem à mente dos decisores fossem expressados; b) fossem levantados o maior número possível de elementos; c) as idéias apresentadas fossem combinadas e melhoradas.

Nesta fase, evita-se críticas às idéias pronunciadas, procurando estimular a criatividade dos decisores, observando-se as considerações da tabela 5.3(Keeney, 1992):

Tabela 5.3 – Considerações na fase de estruturação

Aspectos Desejáveis	Quais são os aspectos que gostaria de levar em conta em seu problema?
Ações	Quais características distinguem uma ação boa de uma ruim?
Dificuldades	Quais são as maiores dificuldades em relação ao estado atual?
Conseqüências	Quais conseqüências das ações são boas/ruins/inaceitáveis?
Metas/ Restrições/ Linhas Gerais	Quais são as metas/ restrições/ e linhas gerais adotadas?
Objetivos Estratégicos	Quais são os objetivos estratégicos neste contexto?
Perspectivas diferentes	Quais são, segundo a perspectiva de um outro decisor, os aspectos desejáveis/ações/dificuldades?

ii) Construção dos critérios:

A partir dos elementos primários de avaliação, identificados na etapa anterior, inicia-se a construção dos critérios propriamente ditos. No caso de conceitos que forem muito próximos um do outro, ou que forem contidos em outro conceito já apresentado, junta-se em uma única idéia, prevalecendo a de conteúdo mais abrangente.

iii) Construção da árvore hierárquica:

A hierarquia pode ser obtida questionando-se aos decisores, a partir de um dado critério, sobre quais são os meios para alcançá-lo e os fins a que se destina.

Em direção aos fins, os critérios foram questionados quanto a sua importância para o decisor. Em direção aos meios, a partir de um dado critério, questionou-se o decisor sobre como poderia obtê-lo.

A metodologia usada nesta etapa foi a realização de questionamentos, para cada critério, em aspectos como: sua importância, seu oposto, como obter o critério, etc.

iv) Apresentação e validação da árvore hierárquica:

Após a construção da árvore hierárquica, esta é apresentada aos decisores para nova discussão. Assim, são realizados enxertos, ajustes, etc. Até que, finalmente, a árvore hierárquica seja validada.

No início do processo de estruturação procura-se identificar elementos de valor, características de ações, objetivos dos participantes, informações fundamentais para a construção do modelo de avaliação. Assim, em reuniões com cada um dos especialistas participantes do processo, foi pedido que estes dessem sugestões quanto aos elementos considerados importantes, para se atingir o objetivo principal. Foi solicitado que listassem critérios, por eles considerados fundamentais, na definição do traçado para pavimentação de estrada. Estudos complementares e pesquisa bibliográfica também foram realizados, buscando adicionar e enriquecer, ainda mais, o rol de critérios iniciais. Uma boa gama de informações foi obtida, resultando-se, ao final, uma lista de características e objetivos julgados importantes para a avaliação.

Inicialmente, as características e objetivos não aparecem de forma clara. É necessário encontrar relações e compatibilidades. Ou seja, é preciso estruturar o problema, de modo que seja possível a construção do modelo de avaliação.

A complexidade na construção do modelo de avaliação está no fato de não existirem procedimentos genéricos que garantam a validade do

modelo. É necessário, então, discussões e constantes ajustes até que o modelo seja aceito como apropriado pelos decisores.

De posse das informações obtidas nas entrevistas e pesquisas bibliográficas, partindo do rol de elementos iniciais, procurou-se identificar componentes inter-relacionados e ramificações. Fez-se, então, uma reciclagem, isto é, retirou-se informações repetidas e agrupou-se os elementos comuns.

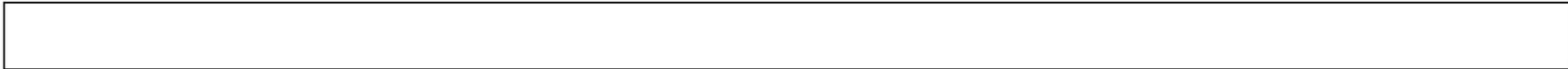
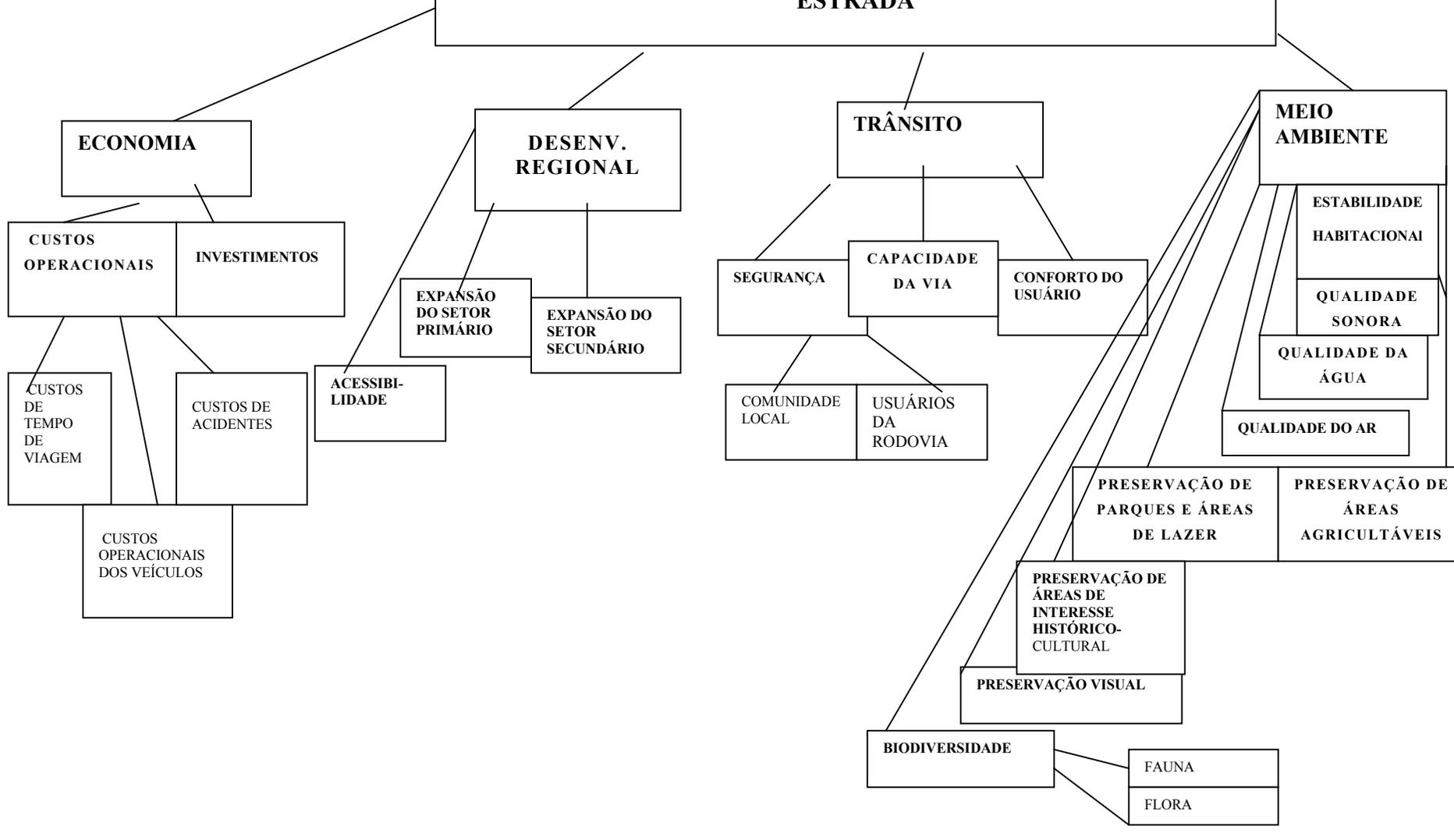
Apresentou-se os resultados ao grupo, para discussão e ajustes nos critérios. Esta discussão serviu para clarificar e revelar novos elementos, durante a evolução do processo de estruturação.

Assim, estes elementos foram agregados numa estrutura que mostra a importância dos mesmos sobre o objetivo do modelo de avaliação, neste caso, escolher o melhor traçado para pavimentação.

Desenvolveu-se uma árvore hierárquica, que foi se aperfeiçoando ao longo do trabalho, durante toda a fase de estruturação. A figura 5.3 foi construída de forma gradativa e, após vários ajustes, foi julgada como adequada, correspondendo a um consenso entre os participantes.

Esta árvore poderá ser usada como base para outros problemas de priorização de traçado de pavimentação. No entanto, é importante ressaltar que cada caso exige análises particulares para a composição de uma árvore representativa da situação específica em questão.

PRIORIZAÇÃO DE TRAÇADO PARA PAVIMENTAÇÃO DE UMA ESTRADA



O primeiro resultado obtido, nesta aplicação prática, é a própria estrutura hierárquica dos critérios de decisão. Como já destacado, esta estrutura é fruto de discussão e constantes ajustes entre os participantes do processo.

A partir do objetivo principal deste estudo, ou seja, a priorização de traçado para pavimentação de estrada, foram definidos quatro critérios principais:

- Economia;
- Desenvolvimento Regional;
- Trânsito;
- Meio Ambiente.

Estes critérios foram subdivididos em critérios de 2º ordem, como pode ser exemplificado pelo critério *trânsito*, que é subdividido em :

- Segurança;
- Capacidade da via;
- Conforto do usuário.

Esses critérios, por sua vez, foram subdivididos, como pode ser exemplificado pelo critério de 2º ordem *custos operacionais*, que foi subdividido nos critérios de 3º ordem: *custos de tempo de viagem*, *custos de acidentes* e *custos operacionais dos veículos*. A estrutura hierárquica assim definida apresenta, então, a composição dos critérios do modelo de decisão aqui proposto.

Cabe ressaltar mais uma vez que, os critérios escolhidos são fruto de extensa discussão entre os participantes do processo, e procuram abranger desde aspectos econômicos, a aspectos estratégicos e de cunho social, fornecendo uma visão ampla das várias dimensões do problema.

Para evitar dúvidas quanto ao que buscam representar os diversos critérios destacados na figura 5.3 e o objetivo principal, são relacionadas a seguir suas concepções.

- **Priorização de traçado para pavimentação de estrada**

É o objetivo principal deste estudo, representa a escolha do melhor traçado para pavimentação em relação as outras alternativas de traçado existentes, quando a pavimentação é viável.

- **Economia**

Corresponde aos aspectos econômicos do projeto, objetivando a compatibilização dos investimentos iniciais com a questão operacional da via durante sua vida útil. Este critério está subdividido nos critérios: custos operacionais e investimentos.

- **Custos operacionais**

Corresponde a busca pela redução dos custos operacionais da via. Está composto de:

a) Custos de tempo de viagem: Avalia o potencial para a redução dos custos relativos a tempo de viagem.

b) Custos operacionais dos veículos: Avalia o potencial para a redução dos custos operacionais dos veículos, se refere a custos como: combustível, pneus, manutenção do veículo, etc.

c) Custos de acidentes: Avalia o potencial para a diminuição dos custos relativos a acidentes na via, se refere a custos como: custo de danos físicos, custo de mortes, custo de perda de cargas, etc.

-Investimentos

Refere-se a busca pela minimização dos investimentos iniciais da obra de maneira que, com o menor custo, se obtenha os maiores benefícios.

• Desenvolvimento regional

Corresponde ao potencial de desenvolvimento da região com a pavimentação da estrada. Este critério é composto dos critérios: acessibilidade, expansão do setor primário, expansão do setor secundário.

- Acessibilidade

Avalia a acessibilidade das comunidades da região em relação a estrada e o potencial de melhoria de acessibilidade das comunidades a serviços de educação, saúde, etc.

- Expansão do setor primário

Avalia o potencial de expansão do setor primário com a presença da rodovia pavimentada, facilitando o escoamento da produção.

- Expansão do setor secundário

Avalia o potencial de expansão do setor secundário com a presença da rodovia pavimentada, melhorando o sistema de transportes para bens e serviços. A pavimentação de uma rodovia pode significar um ganho para uma região com potencial econômico, podendo representar um grande fator de desenvolvimento.

• Trânsito

Avalia o grau de melhoria das condições do fluxo de trânsito. Este critério está subdividido nos critérios: segurança, capacidade da via e conforto do usuário.

- Segurança

Avalia o grau de segurança que a rodovia oferece aos seus usuários diretamente e a comunidade local envolvida pela rodovia. Este critério está composto de:

a) Comunidade local:

Avalia o grau de segurança que a rodovia oferece para evitar acidentes na movimentação e deslocamento dos habitantes de comunidades circunvizinhas à rodovia. Visto que, o risco de acidentes com pedestres aumenta com a proximidade da rodovia a áreas residenciais, escolas, igrejas, áreas comerciais, áreas de lazer, etc.

b) Usuários da rodovia:

Avalia o grau de segurança que a rodovia oferece aos seus usuários diretamente, no que se refere a raios de curvas, elementos geométricos apropriados, entre outros.

- Capacidade da via

Refere-se ao número máximo de veículos (expressos em veículos equivalentes com dimensões padrão) que podem passar por um ponto (ou transpassar por uma intersecção) em uma hora, em ambas as direções.

- Conforto do usuário

Avalia o grau de conforto que a rodovia oferece ao usuário em termos da busca pela minimização da variação da velocidade ao longo de todo o traçado, reduzindo-se excessos de curvas e aplicando-se elementos geométricos apropriados.

• Meio Ambiente

Avalia o grau de impacto ambiental provocado pela rodovia. Este critério está subdividido nos critérios: estabilidade habitacional, qualidade sonora, qualidade da água, qualidade

do ar, preservação de parques e áreas de lazer, preservação de áreas agricultáveis, preservação de áreas de interesse histórico-cultural, preservação visual e biodiversidade.

-Estabilidade habitacional

Refere-se à busca pela redução do impacto social negativo causado pelas desapropriações de propriedades em consequência do traçado da rodovia.

- Qualidade Sonora

Avalia o grau de melhoria da qualidade sonora em termos dos ruídos que uma rodovia pode gerar para vilas e comunidades circunvizinhas. Os ruídos vindos de uma rodovia causam impactos sobre as populações expostas permanentemente aos ruídos, as instalações que necessitam de silêncio como: escolas, hospitais, etc.

- Qualidade da água

Refere-se à busca pela preservação de fontes, nascentes e de áreas de captação de água potável ao longo do trecho.

- Qualidade do ar

Refere-se à busca pela minimização dos efeitos causados pela emissão de gases poluentes, principalmente em relação às comunidades locais. Reduzindo-se o número de rampas e evitando-se que o traçado corte comunidades. Visto que, são esperadas emissões, por parte dos veículos, de gases compostos de materiais tóxicos pelo tráfego gerado com a construção da nova rodovia.

- Preservação de parques e áreas de lazer

Refere-se à busca pela preservação de parques e áreas de lazer presentes nas comunidades ao longo do trecho.

- Preservação de áreas agricultáveis

Refere-se à busca pela minimização de áreas agricultáveis atingidas pelo traçado da rodovia. Visto que, se o cultivo agrícola se faz de maneira que esta área não possa mais ser utilizada economicamente, podem ser gerados conflitos de ordem social e econômica.

- Preservação de áreas de interesse histórico-cultural

Refere-se à busca pela preservação de elementos de interesse histórico-cultural, se reporta a: patrimônios históricos tombados, patrimônios arqueológicos, etc.

- Preservação visual

Refere-se à busca pela minimização dos efeitos visuais negativos que podem ser causados pelo traçado de uma rodovia. Estes efeitos podem ser definidos como o resultado da existência de elementos que são detectados visualmente, criando obstáculos a existência de uma paisagem em harmonia. Refere-se a corte de encostas, aterros, etc.

- Biodiversidade

Refere-se à busca pela preservação dos biótipos da região. Este critério está subdividido nos critérios:

a) Fauna:

Refere-se à busca pela proteção da fauna da região em relação aos impactos negativos causados pela rodovia, caracterizando os espaços e costumes vitais das espécies características da região.

b) Flora

Refere-se à busca pela proteção da flora da região. Às áreas de florestas de desenvolvimento inicial, médio e com estágio de desenvolvimento mais avançado. Relaciona-se a

áreas de preservação ambiental, preservação permanente, etc.

5.3- ANÁLISE DAS ALTERNATIVAS

Inicialmente, será feita a análise do melhor traçado para pavimentação supondo que esta é viável. Para esta análise, considera-se que o trecho está dividido em partes a serem analisadas separadamente. Neste caso, é possível fazer esta análise em partes pois, para o trecho como um todo, não existe nenhuma restrição. No caso de existi-la seria necessário trabalhar com as combinações das alternativas.

A figura 5.4 mostra, esquematicamente, o trecho dividido em 4 partes a serem analisadas separadamente.

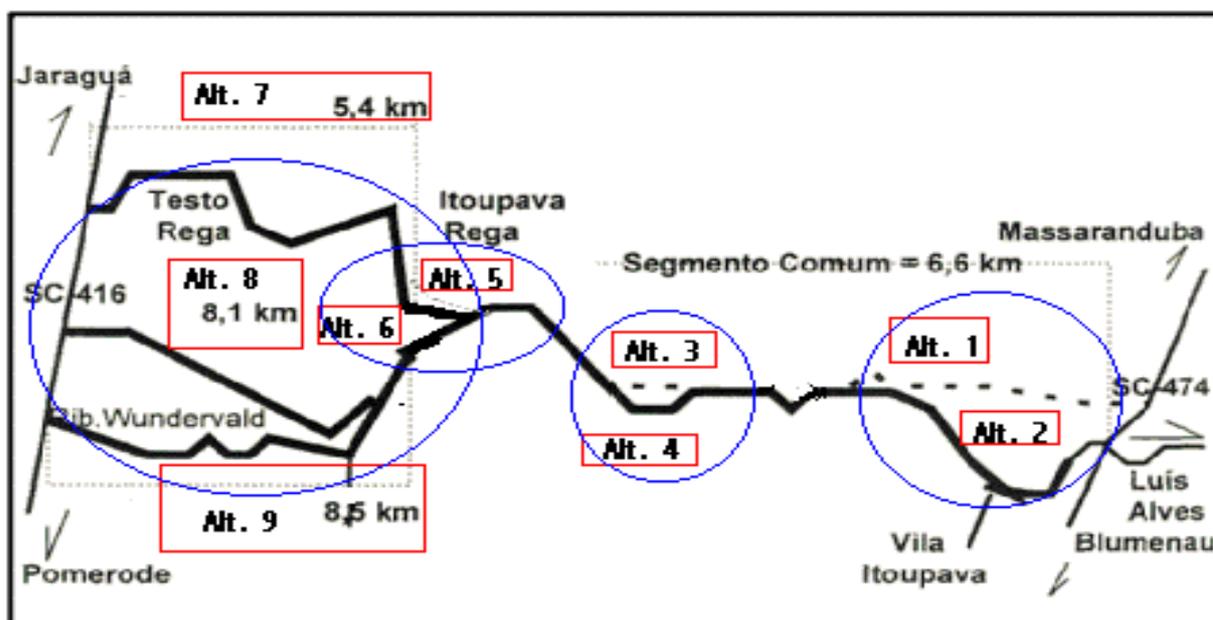


FIGURA 5.4- Esquema de análise das alternativas.

Esta etapa de análise das alternativas tem como objetivo principal selecionar o melhor corredor, supondo a viabilidade da pavimentação, a partir da análise de: Alt. 1 e Alt. 2; Alt. 3 e Alt. 4; Alt. 5 e Alt. 6; Alt. 7, Alt. 8 e Alt. 9. Neste sentido, todas as alternativas serão

confrontadas em relação aos critérios estabelecidos na árvore hierárquica desenvolvida nesta aplicação prática (FIGURA 5.3). Assim, ao final, o melhor traçado será composto pelas melhores alternativas em cada parte.

Primeiramente serão confrontadas as alternativas 1 e 2, em seguida as alternativas 3 e 4, na seqüência as alternativas 5 e 6 e, por último, as alternativas 7, 8 e 9.

Para que as alternativas sejam confrontadas é necessário identificar os estados que constituirão os diferentes níveis de impacto dos critérios em cada uma das alternativas a serem verificadas. A identificação destes estados é apresentada na seqüência:

5.3.1- Investimentos

Para a análise do critério Investimentos foram utilizados os dados obtidos junto ao DER-SC, para cada uma das alternativas, dos itens: terraplanagem, obras de arte correntes, drenagem, pavimentação, obras complementares e obras de arte especiais que estão quantificados com seus referidos custos. Assim, nas tabelas 5.4, 5.5, 5.6, 5.7, 5.8 e 5.9 é possível observar os referidos investimentos para cada uma das alternativas.

Tabela 5.4 – Investimentos: Alternativa 1 e Alternativa 2.

FONTE: Relatório 2 SC-416, Consórcio Kocks/Prosul, 1996.

Itens	Unid.	Alternativa 1			Alternativa 2		
		Preço Unitário	Quant.	Total R\$ x 10 ³	Preço Unitário	Quant.	Total R\$ x 10 ³
Terraplenagem	km	603.208,00	1,71	1.031,49	217.009,57	2,09	453,55
Obras de arte correntes	km	25.000,00	1,71	42,75	25.000,00	2,09	52,25
Drenagem	km	45.000,00	1,71	76,95	54.000,00	2,09	112,86
Pavimentação	km	170.363,00	1,71	291,32	170.363,00	2,09	356,06
Obras complementares	km	35.000,00	1,71	59,85	35.000,00	2,09	73,15
Obras arte especiais	m ²	-	-	-	600,00	650	390,00
Soma dos Custos (Milhões de R\$)				1,50	1,44		

Tabela 5.5 – Investimentos: Alternativa 3 e Alternativa 4.

FONTE: Relatório 2 SC-416, Consórcio Kocks/Prosul, 1996.

Itens	Unid.	Alt. 3			Alt. 4		
		Preço Unitário	Quant.	Total R\$ x 10 ³	Preço Unitário	Quant.	Total R\$ x 10 ³
Terraplenagem	km	37.994,00	2,36	89,66	131.931,00	1,96	258,58
Obras de arte correntes	km	25.000,00	2,36	59,00	80.000,00	1,96	156,80
Drenagem	km	45.000,00	2,36	106,20	45.000,00	1,96	88,20
Pavimentação	km	170.363,00	2,36	402,06	170.363,00	1,96	333,91
Obras complementares	km	35.000,00	2,36	82,80	35.000,00	1,96	68,60
Soma dos Custos (Milhões de R\$)				0,74	0,91		

Tabela 5.6 – Investimentos: Alternativa 5 e Alternativa 6.

FONTE: Relatório 2 SC-416, Consórcio Kocks/Prosul, 1996.

Itens	Unid.	Alt. 5			Alt. 6		
		Preço Unitário	Quant.	Total R\$ x 10 ³	Preço Unitário	Quant.	Total R\$ x 10 ³
Terraplenagem	km	77.820,00	1,84	143,19	242.391,00	1,48	358,74
Obras de arte correntes	km	25.000,00	1,84	46,00	65.000,00	1,48	96,20
Drenagem	km	45.000,00	1,84	82,80	45.000,00	1,48	66,60
Pavimentação	km	170.363,00	1,84	313,47	170.363,00	1,48	252,14
Obras complementares	km	35.000,00	1,84	64,40	35.000,00	1,48	51,80
Soma dos Custos (Milhões de R\$)				0,65	0,83		

Tabela 5.7 – Investimentos: Alternativa 7.

FONTE: Relatório 2 SC-416, Consórcio Kocks/Prosul, 1996.

CÓDIGO	SERVIÇO	UNI-DADE	QUAN-TIDADE	P.UNIT. R\$-7/96	TOTAL (R\$)
	TERRAPLENAGEM				
50000	Desmatamento e Limpeza do Terreno	m2	174.750	0,12	20.970,00
50090	Esc. Carga e Transp. de Mat. Clas 1a cat 400<DMT<500	m3	576.047	1,89	1.068.728,83
51080	Esc. Carga e Transp. de Mat. Clas 2a cat 400<DMT<500	m3	205.731	2,71	557.531,01
51580	Esc. Carga e Transp. de Mat. Clas 3a cat 400<DMT<500	m3	41.146	10,43	429.152,78
52000	Compactação de Aterro a 95% do Proctor Normal	m3	314.848	0,80	251.878,40
52010	Compactação de Aterro a 100% do Proctor Normal	m3	134.935	1,01	136.284,35
			SUB TOTAL		2.484.545,37
	PAVIMENTAÇÃO				
53010	Regularização do sub leito a 100% do Proctor Normal	m2	139.800	0,29	40.542,00
53130	Camada de Macadame Seco	m2	32.008	26,87	853.653,36
53190	Base de Brita Graduada	m3	16.846	34,14	575.122,44
53300	Imprimação	m2	84.231	0,08	6.738,48
53310	Pintura de Ligação	m2	88.441	0,07	6.190,87
53380	Camada de Concreto Asfáltico Usinado a Quente	t	10.528	28,04	295.205,12
53490	Fornecimento e Transp. de Cimento Asfáltico CAP. 20	t	633	256,39	162.294,87
53510	Fornecimento e Transp. de Asfalto Diluído CM-30	t	101	314,95	31.809,95
53560	Fornecimento e Transp. de Emulsão Asfáltica RR-2C	t	44	299,39	13.173,16
			SUB TOTAL		1.984.730,25
	Drenagem	Km	12,03	45000,00	541.350,00
	O.A.C.	km	12,03	25000,00	300.750,00
(*)	Obras Complementares	km	12,03	147500,00	1.774.425,00
	Obra de Arte Especial	m2	650	600,00	390.000,00
			TOTAL		7.475.800,62
			CUSTO P/ KM		621.429,81
	(*) Mais obras de contenções de cortes e aterros				

Tabela 5.8 – Investimentos: Alternativa 8.

FONTE: Relatório 2 SC-416, Consórcio Kocks/Prosul, 1996.

CÓDIGO	SERVIÇO	UNI-DADE	QUAN-TIDADE	P.UNIT. R\$-7/96	TOTAL (R\$)
	TERRAPLENAGEM				
50000	Desmatamento e Limpeza do Terreno	m2	212.400	0,12	25.488,00
50090	Esc. Carga e Transp. de Mat. Clas 1a cat 400<DMT<500	m3	734.128	1,89	1.387.501,92
51080	Esc. Carga e Transp. de Mat. Clas 2a cat 400<DMT<500	m3	282.188	2,71	710.529,48
51580	Esc. Carga e Transp. de Mat. Clas 3a cat 400<DMT<500	m3	52.437	10,43	546.917,91
52000	Compactação de Aterro a 95% do Proctor Normal	m3	382.478	0,80	289.982,40
52010	Compactação de Aterro a 100% do Proctor Normal	m3	155.348	1,01	156.901,48
			SUB TOTAL		3.117.321,19
	Pavimentação	Km	14,66	170363,11	2.497.523,19
	Drenagem	Km	14,66	45000,00	659.700,00
	O.A.C.	km	14,66	25000,00	366.500,00
	Obras Complementares	km	14,66	35000,00	513.100,00
	Obra de Arte Especial	m2	850	600,00	390.000,00
			TOTAL		7.544.144,38
			CUSTO P/ KM		514.607,39

Tabela 5.9 – Investimentos: Alternativa 9.

FONTE: Relatório 2 SC-416, Consórcio Kocks/Prosul,1996.

CÓDIGO	SERVIÇO	UNI-DADE	QUAN-TIDADE	P.UNIT. R\$-7/96	TOTAL (R\$)
	TERRAPLENAGEM				
50000	Desmatamento e Limpeza do Terreno	m2	219.300	0,12	26.316,00
50090	Esc. Carga e Transp. de Mat. Clas 1a cat 400<DMT<500	m3	552.278	1,89	1.043.805,42
51080	Esc. Carga e Transp. de Mat. Clas 2a cat 400<DMT<500	m3	197.242	2,71	534.525,82
51580	Esc. Carga e Transp. de Mat. Clas 3a cat 400<DMT<500	m3	39.448	10,43	411.442,64
52000	Compactação de Aterro a 95% do Proctor Normal	m3	361.816	0,80	289.452,80
52010	Compactação de Aterro a 100% do Proctor Normal	m3	155.064	1,01	156.614,64
			SUB TOTAL		2.462.157,32
	Pavimentação	Km	15,12	170363,11	2.575.890,22
	Drenagem	Km	15,12	45000,00	680.400,00
	O.A.C.	km	15,12	25000,00	378.000,00
	Obras Complementares	km	15,12	35000,00	529.200,00
	Obra de Arte Especial	m2	650	600,00	390.000,00
			TOTAL		7.015.647,54
			CUSTO P/ KM		463.997,85

5.3.2-Custos de Tempo de Viagem

Para a análise do critério custos de tempo de viagem usa-se os dados obtidos junto ao DER-SC, para cada uma das alternativas, dos custos referentes a tempo de viagem. Estes custos foram obtidos através da utilização do software HDM-Manager pelo DER-SC. Os referidos custos são apresentados na tabela 5.10.

Tabela 5.10 – Custos de tempo de viagem para cada alternativa

ALTERNATIVAS	CUSTO DE TEMPO DE VIAGEM
Alternativa. 1	0.55 Milhões de dólares
Alternativa. 2	0.60 Milhões de dólares
Alternativa.3	0.53 Milhões de dólares
Alternativa. 4	0.46 Milhões de dólares
Alternativa. 5	0.40 Milhões de dólares
Alternativa. 6	0.35 Milhões de dólares
Alternativa. 7	3.93 Milhões de dólares
Alternativa.8	3.53 Milhões de dólares
Alternativa.9	3.97 Milhões de dólares

5.3.3- Custos Operacionais dos veículos

Para a análise do critério Custos Operacionais dos veículos usa-se os dados obtidos junto ao DER-SC, para cada uma das alternativas, dos custos operacionais dos veículos Estes custos, da mesma forma que os anteriores, foram obtidos através da utilização do software HDM-Manager pelo DER-SC. Os referidos custos são apresentados na tabela 5.11.

Tabela 5.11 – Custos Operacionais dos veículos para cada alternativa

ALTERNATIVAS	CUSTO OPERACIONAL DOS VEÍCULOS
Alternativa. 1	1.38 Milhões de dólares
Alternativa. 2	1.49 Milhões de dólares
Alternativa.3	1.37 Milhões de dólares
Alternativa. 4	1.23 Milhões de dólares
Alternativa. 5	1.05 Milhões de dólares
Alternativa. 6	0.94 Milhões de dólares
Alternativa. 7	9.90 Milhões de dólares
Alternativa.8	9.12 Milhões de dólares
Alternativa.9	10.13 Milhões de dólares

5.3.4- Custos de acidentes

Em relação a este critério as alternativas foram classificadas considerando-se que, em média, a taxa de acidentes em rodovias não pavimentadas é 2,3 vezes maior que nas pavimentadas.

5.3.5- Acessibilidade

Para análise do critério Acessibilidade usou-se um descritor qualitativo em quatro níveis. Neste sentido, os estados seguintes é que constituirão os diferentes níveis de impacto do critério acessibilidade, em cada uma das alternativas. Tem-se então:

- a) Alta: Traçado atende a maior número de pessoas na região e o acesso para outras é feito em revestimento primário.
- b) Média: Traçado atende a um número médio de pessoas na região e o acesso para outras é feito em revestimento primário.
- c) Baixa: Traçado atende a um número pequeno de pessoas na região e o acesso para outras é feito em revestimento primário.
- d) Muito Baixa: Traçado não atende diretamente a ninguém na região e o acesso para as pessoas da região é feito em revestimento primário.

Segundo este critério as alternativas foram classificadas como mostra a tabela 5.12.

Tabela 5.12 – Acessibilidade para cada alternativa

ALTERNATIVAS	ACESSIBILIDADE
Alternativa. 1	BAIXA
Alternativa. 2	ALTA
Alternativa.3	ALTA
Alternativa. 4	MÉDIA
Alternativa. 5	ALTA
Alternativa. 6	MÉDIA
Alternativa. 7	ALTA
Alternativa.8	MÉDIA
Alternativa.9	ALTA

5.3.6- Expansão do Setor Primário

Para análise do critério Expansão do Setor Primário usou-se um descritor qualitativo em três níveis. Assim, os estados seguintes é que constituirão os diferentes níveis de impacto do critério Expansão do Setor Primário, em cada uma das alternativas. Tem-se então:

- a) Alta: O traçado possibilita acentuada expansão das atividades do setor primário.
- b) Média: O traçado possibilita expansão não relevante das atividades do setor primário.
- c) Baixa: O traçado não possibilita a expansão das atividades do setor primário.

Segundo este critério as alternativas foram classificadas como mostra a tabela 5.13.

Tabela 5.13 – Expansão do setor primário para cada alternativa

ALTERNATIVAS	EXPANSÃO DO SETOR PRIMÁRIO
Alternativa. 1	ALTA
Alternativa. 2	BAIXA
Alternativa.3	ALTA
Alternativa. 4	BAIXA
Alternativa. 5	MÉDIA
Alternativa. 6	MÉDIA
Alternativa. 7	BAIXA
Alternativa.8	BAIXA
Alternativa.9	MÉDIA

5.3.7- Expansão do Setor Secundário

Para análise do critério Expansão do Setor Secundário usou-se um descritor qualitativo em três níveis. Desta forma, os estados seguintes é que constituirão os diferentes níveis de impacto do critério Expansão do Setor Secundário, em cada uma das alternativas. Tem-se então:

- a) Alta: O traçado possibilita acentuada expansão das atividades do setor secundário.
- b) Média: O traçado possibilita expansão não relevante das atividades do setor secundário.
- c) Baixa: O traçado não possibilita a expansão das atividades do setor secundário.

Segundo este critério as alternativas foram classificadas como mostra a tabela 5.14.

Tabela 5.14 – Expansão do setor secundário para cada alternativa

ALTERNATIVAS	EXPANSÃO DO SETOR SECUNDÁRIO
Alternativa. 1	ALTA
Alternativa. 2	ALTA
Alternativa.3	ALTA
Alternativa. 4	ALTA
Alternativa. 5	ALTA
Alternativa. 6	ALTA
Alternativa. 7	ALTA
Alternativa.8	ALTA
Alternativa.9	ALTA

5.3.8- Segurança para a comunidade local

Este critério também é avaliado de forma qualitativa, em quatro níveis como segue:

- a) Muito Alta: O traçado passa distante de áreas sensíveis, com grande fluxo de pessoas. (áreas residenciais, comerciais, escolas, igrejas, etc.)
- b) Alta : O traçado tangencia áreas sensíveis, com baixo fluxo de pessoas.
- c) Média: O traçado tangencia áreas sensíveis, com grande fluxo de pessoas.
- d) Baixa: O traçado corta áreas sensíveis, com grande fluxo de pessoas.

Segundo este critério as alternativas foram classificadas como mostra a tabela 5.15.

Tabela 5.15 – Segurança para a comunidade local para cada alternativa

ALTERNATIVAS	SEGURANÇA PARA A COMUNIDADE LOCAL
Alternativa. 1	ALTA
Alternativa. 2	BAIXA
Alternativa.3	BAIXA
Alternativa. 4	ALTA
Alternativa. 5	BAIXA
Alternativa. 6	ALTA
Alternativa. 7	BAIXA
Alternativa.8	MUITO ALTA
Alternativa.9	BAIXA

Nas fotos 5.1 e 5.2 é possível observar a alternativa 7, cortando áreas sensíveis como: uma igreja e residências.



Foto 5.1 – Alternativa 7 cortando áreas residenciais



Foto 5.2 – Alternativa 7 cortando a comunidade e uma igreja

5.3.9- Segurança para os usuários da rodovia

Este critério é avaliado de forma qualitativa, em dois níveis, principalmente no que se refere a geometria da estrada. Assim, tem-se:

- a) Sim: O traçado possui elementos geométricos em condições favoráveis à segurança.
- b) Não: O traçado possui elementos geométricos em condições desfavoráveis à segurança.

Segundo este critério as alternativas foram classificadas como mostra a tabela 5.16.

Tabela 5.16 – Segurança para os usuários da rodovia para cada alternativa

ALTERNATIVAS	SEGURANÇA PARA OS USUÁRIOS DA RODOVIA
Alternativa. 1	SIM
Alternativa. 2	SIM
Alternativa.3	NÃO
Alternativa. 4	SIM
Alternativa. 5	NÃO
Alternativa. 6	SIM
Alternativa. 7	NÃO
Alternativa.8	SIM
Alternativa.9	NÃO

A foto 5.3 mostra a Alternativa 3 com elementos geométricos em condições desfavoráveis à segurança. É importante destacar que existe dificuldade de retificação da estrada pela proximidade com o Rio Itoupava Rega.



Foto 5.3 – Elementos geométricos em condições desfavoráveis à segurança da Alternativa 3.

5.3.10-Capacidade da via

Segundo informações obtidas junto aos especialistas do DER, a capacidade para o trecho todo, ou seja, a intensidade de fluxo para o qual a via deve ser projetada é de um VHP(Volume Horário de Projeto)=85, para 2007. No entanto, as diferentes alternativas de traçado a serem analisadas foram classificadas segundo os níveis do Highway Capacity Manual (HCM-2000), como pode ser visto na tabela 5.17.

Tabela 5.17 – Capacidade da via para cada alternativa

ALTERNATIVAS	CAPACIDADE DA VIA
Alternativa. 1	B
Alternativa. 2	C
Alternativa.3	B
Alternativa. 4	B
Alternativa. 5	B
Alternativa. 6	B
Alternativa. 7	C
Alternativa.8	A
Alternativa.9	B

5.3.11- Conforto do Usuário

Este critério é avaliado de forma qualitativa, em quatro níveis, principalmente no que se refere a variação de velocidade e possibilidades de ultrapassagens ao longo do trecho. Assim, tem-se:

- a) Alto: Traçado possibilita que seja mantida uma velocidade aproximadamente constante em todo trecho e permite ultrapassagens em mais de 50% da extensão da rodovia.
- b) Médio: Traçado possibilita que seja mantida uma velocidade aproximadamente constante em todo trecho e permite ultrapassagens de 35% a 50% da extensão da rodovia.
- c) Baixo: Traçado não possibilita que seja mantida uma velocidade aproximadamente constante em todo trecho e permite ultrapassagens de 25% a 35% da extensão da rodovia.
- d) Muito baixo: Traçado não possibilita que seja mantida uma velocidade aproximadamente constante em todo trecho e permite ultrapassagens em menos de 25% da extensão da rodovia.

Segundo este critério as alternativas foram classificadas como mostra a tabela 5.18.

Tabela 5.18 – Conforto do usuário para cada alternativa

ALTERNATIVAS	CONFORTO DO USUÁRIO
Alternativa. 1	MÉDIO
Alternativa. 2	MUITO BAIXO
Alternativa.3	MUITO BAIXO
Alternativa. 4	ALTO
Alternativa. 5	MUITO BAIXO
Alternativa. 6	ALTO
Alternativa. 7	MUITO BAIXO
Alternativa.8	ALTO
Alternativa.9	MUITO BAIXO

5.3.12- Estabilidade Habitacional

Este critério é avaliado de forma quantitativa. Para a análise do critério, usa-se os dados obtidos junto ao DER-SC, do número de desapropriações de habitações a serem realizadas ao longo de cada uma das alternativas.

Segundo este critério as alternativas foram classificadas como mostra a tabela 5.19.

Tabela 5.19 – Número de desapropriações em cada alternativa

ALTERNATIVAS	DESAPROPRIAÇÕES
Alternativa. 1	2
Alternativa. 2	1
Alternativa.3	0
Alternativa. 4	1
Alternativa. 5	0
Alternativa. 6	0
Alternativa. 7	1
Alternativa.8	1
Alternativa.9	2

5.3.13- Qualidade Sonora

Este critério é avaliado de forma qualitativa, em quatro níveis, referindo-se aos limites recomendáveis de níveis de ruídos. Estes limites são de 70 db diurno e

60db noturno. Assim, para cada uma das alternativas, estes dados são usados aqui. Assim, tem-se:

- a) Muito Alta: Nível muito abaixo do limite recomendável.
- b) Alta: Nível perto do limite recomendável.
- c) Média: Nível igual ao limite recomendável.
- d) Baixa: Nível maior que o limite recomendável.

Segundo este critério as alternativas foram classificadas como mostra a tabela 5.20.

Tabela 5.20 – Qualidade Sonora para cada alternativa

ALTERNATIVAS	QUALIDADE SONORA
Alternativa. 1	MUITO ALTA
Alternativa. 2	MUITO ALTA
Alternativa.3	MUITO ALTA
Alternativa. 4	MUITO ALTA
Alternativa. 5	MUITO ALTA
Alternativa. 6	MUITO ALTA
Alternativa. 7	MUITO ALTA
Alternativa.8	MUITO ALTA
Alternativa.9	MUITO ALTA

5.3.14- Qualidade da água

Este critério é avaliado de forma quantitativa. Para a análise do critério, usa-se os dados, obtidos junto ao DER-SC, do número de nascentes atingidas pelo traçado ao longo do trecho, para cada alternativa.

Segundo este critério as alternativas foram classificadas como mostra a tabela 5.21.

Tabela 5.21 – Numero de nascentes atingidas pelo traçado em cada alternativa

ALTERNATIVAS	Nº DE NASCENTES ATINGIDAS PELO TRAÇADO
Alternativa. 1	1
Alternativa. 2	0
Alternativa.3	0
Alternativa. 4	0
Alternativa. 5	0
Alternativa. 6	0
Alternativa. 7	4
Alternativa.8	3
Alternativa.9	2

5.3.15- Qualidade do ar

Este critério é avaliado de forma qualitativa, em dois níveis, referindo-se a distância de áreas sensíveis como: áreas residenciais, comerciais, escolas, áreas com grande concentração de pessoas. Segundo DER-SC, os gases poluentes se concentrarão, em maior índice, numa faixa de aproximadamente 50m para cada lado da rodovia. Neste sentido, as alternativas são avaliadas da seguinte forma:

- a) Alta: Distância às áreas sensíveis \geq 50m.
- b) Baixa: Distância às áreas sensíveis \leq 50m.

Segundo este critério as alternativas foram classificadas como mostra a tabela 5.22.

Tabela 5.22 – Qualidade do ar para cada alternativa

ALTERNATIVAS	QUALIDADE DO AR
Alternativa. 1	ALTA
Alternativa. 2	BAIXA
Alternativa.3	BAIXA
Alternativa. 4	ALTA
Alternativa. 5	ALTA
Alternativa. 6	ALTA
Alternativa. 7	BAIXA
Alternativa.8	ALTA
Alternativa.9	BAIXA

5.3.16- Preservação de Parques e áreas de Lazer

Este critério é avaliado de forma qualitativa, em dois níveis, referindo-se a existência de interferência, por parte do traçado, em parques ou áreas de lazer. Neste sentido, as alternativas são avaliadas da seguinte forma:

- a) Não preserva: Existe interferência, por parte do traçado, em parques ou áreas de lazer.
- b) Preserva: Não existe interferência, por parte do traçado, em parques ou áreas de lazer.

Segundo este critério as alternativas foram classificadas como mostra a tabela 5.23.

Tabela 5.23 – Preservação de Parques e áreas de Lazer

ALTERNATIVAS	PRESERVAÇÃO DE PARQUES E ÁREAS DE LAZER
Alternativa. 1	PRESERVA
Alternativa. 2	PRESERVA
Alternativa.3	PRESERVA
Alternativa. 4	PRESERVA
Alternativa. 5	PRESERVA
Alternativa. 6	PRESERVA
Alternativa. 7	PRESERVA
Alternativa.8	PRESERVA
Alternativa.9	PRESERVA

5.3.17- Preservação de áreas agricultáveis

Este critério é avaliado de forma quantitativa. Para a análise do critério, usa-se os dados, obtidos junto ao DER-SC, de áreas agricultáveis atingidas ao longo do trecho.

Segundo este critério as alternativas foram classificadas como mostra a tabela 5.24.

Tabela 5.24 – Perda de áreas agricultáveis ao longo do trecho

ALTERNATIVAS	PERDA DE ÁREAS AGRICULTÁVEIS AO LONGO DO TRECHO
Alternativa. 1	_____
Alternativa. 2	AO LONGO DE 70m DO TRECHO
Alternativa.3	_____
Alternativa. 4	AO LONGO DE 280m DO TRECHO
Alternativa. 5	_____
Alternativa. 6	_____
Alternativa. 7	AO LONGO DE 1070m DO TRECHO
Alternativa.8	AO LONGO DE 670m DO TRECHO
Alternativa.9	AO LONGO DE 530m DO TRECHO

Na foto 5.4 é possível observar áreas agricultáveis a serem atingidas ao longo do traçado.

**Foto 5.4– Áreas agricultáveis a serem atingidas ao longo do traçado**

5.3.18- Preservação de áreas de interesse Histórico-Cultural

Este critério é avaliado de forma qualitativa, em dois níveis, referindo-se a existência de interferência, por parte do traçado, em áreas de interesse Histórico-Cultural. Neste sentido, as alternativas são avaliadas da seguinte forma:

- a) Não preserva: Existe interferência, por parte do traçado, em áreas de interesse Histórico-Cultural.

- b) Preserva: Não existe interferência, por parte do traçado, em áreas de interesse Histórico-Cultural.

Segundo este critério as alternativas foram classificadas como mostra a tabela 5.25.

Tabela 5.25 – Preservação de áreas de interesse Histórico-Cultural

ALTERNATIVAS	PRESERVAÇÃO DE ÁREAS DE INTERESSE HISTÓRICO-CULTURAL
Alternativa. 1	PRESERVA
Alternativa. 2	PRESERVA
Alternativa.3	PRESERVA
Alternativa. 4	PRESERVA
Alternativa. 5	PRESERVA
Alternativa. 6	PRESERVA
Alternativa. 7	PRESERVA
Alternativa.8	PRESERVA
Alternativa.9	PRESERVA

A foto 5.5 mostra uma casa em estilo germânico, de interesse histórico-cultural, que será preservada.



Foto 5.5 Casa em estilo germânico que será preservada

5.3.19- Preservação Visual

Este critério é avaliado de forma quantitativa. Para a análise do critério, usa-se os dados, obtidos junto ao DER-SC, da distância ao longo do trecho que causa danos à imagem da paisagem.

Segundo este critério as alternativas foram classificadas como mostra a tabela 5.26.

Tabela 5.26 – Preservação Visual

ALTERNATIVAS	DISTÂNCIA AO LONGO DO TRECHO QUE CAUSA DANOS À IMAGEM DA PAISAGEM
Alternativa. 1	AO LONGO DE 1000m DO TRECHO
Alternativa. 2	AO LONGO DE 330m DO TRECHO
Alternativa.3	AO LONGO DE 80m DO TRECHO
Alternativa. 4	AO LONGO DE 260m DO TRECHO
Alternativa. 5	_____
Alternativa. 6	_____
Alternativa. 7	AO LONGO DE 1710m DO TRECHO
Alternativa.8	AO LONGO DE 1340m DO TRECHO
Alternativa.9	AO LONGO DE 1590m DO TRECHO

Nas fotos 5.6 e 5.7 é possível observar o impacto visual negativo causado pela necessidade de cortes ao longo do traçado.



Foto 5.6 – Impacto visual negativo ao longo do traçado



Foto 5.7 – Impacto visual negativo ao longo do traçado

5.3.20- Preservação da Flora

Este critério é avaliado de forma quantitativa. Para a análise do critério, usa-se os dados, obtidos junto ao DER-SC, da distância ao longo do trecho onde existe perda de mata de capoeirões, capoeiras e capoeirinhas.

Na formação tipo capoeirão, constata-se a presença de espécies como: figueira de folhas miúdas, pau-marfin, peroba, etc.

Nas áreas de capoeira, predominam tipos como: pau-gambá, cedro, jacatirão, embaúba, etc.

A capoeirinha é composta por vassouras-brancas e capororoca.

Segundo este critério as alternativas foram classificadas como mostram as tabelas 5.27, 5.28 e 5.29.

Tabela 5.27 – Perda de Capoeirões

ALTERNATIVAS	DISTÂNCIA AO LONGO DO TRECHO ONDE EXISTE PERDA DE CAPOEIRÕES
Alternativa. 1	AO LONGO DE 840m DO TRAÇADO
Alternativa. 2	AO LONGO DE 510m DO TRAÇADO
Alternativa.3	AO LONGO DE 50m DO TRAÇADO
Alternativa. 4	AO LONGO DE 510m DO TRAÇADO
Alternativa. 5	_____
Alternativa. 6	_____
Alternativa. 7	AO LONGO DE 2120m DO TRAÇADO
Alternativa.8	AO LONGO DE 2940m DO TRAÇADO
Alternativa.9	AO LONGO DE 1450m DO TRAÇADO

Tabela 5.28 – Perda de Capoeiras

ALTERNATIVAS	DISTÂNCIA AO LONGO DO TRECHO ONDE EXISTE PERDA DE CAPOEIRAS
Alternativa. 1	AO LONGO DE 290m DO TRAÇADO
Alternativa. 2	AO LONGO DE 180m DO TRAÇADO
Alternativa.3	_____
Alternativa. 4	AO LONGO DE 320m DO TRAÇADO
Alternativa. 5	_____
Alternativa. 6	_____
Alternativa. 7	AO LONGO DE 420m DO TRAÇADO
Alternativa.8	AO LONGO DE 920m DO TRAÇADO
Alternativa.9	AO LONGO DE 770m DO TRAÇADO

Tabela 5.29 – Perda de Capoeirinhas

ALTERNATIVAS	DISTÂNCIA AO LONGO DO TRECHO ONDE EXISTE PERDA DE CAPOEIRINHAS
Alternativa. 1	AO LONGO DE 70m DO TRAÇADO
Alternativa. 2	AO LONGO DE 140m DO TRAÇADO
Alternativa.3	_____
Alternativa. 4	AO LONGO DE 230m DO TRAÇADO
Alternativa. 5	_____
Alternativa. 6	_____
Alternativa. 7	AO LONGO DE 280m DO TRAÇADO
Alternativa.8	AO LONGO DE 780m DO TRAÇADO
Alternativa.9	AO LONGO DE 250m DO TRAÇADO

Nas fotos 5.8 e 5.9 é possível observar a flora típica da região e os futuros impactos que poderão ser causados à mesma.



Foto 5.8 – Flora típica da região



Foto 5.9 – Flora típica da região

5.3.21- Preservação da Fauna

Como não existem dados relacionados a caracterização dos espaços e costumes vitais da fauna da região, pressupõe-se que estas espécies existem em

complexos da flora mais desenvolvida. Assim, este critério é avaliado de forma qualitativa relacionando-se com as regiões de maior impacto à flora. Usa-se um descritor em três níveis.

- a) Grande : Corte de pequena área de mata em estágio mais avançado.
- b) Média: Corte de área média de mata em estágio mais avançado.
- c) Pequena: Corte de grandes áreas de mata em estágio mais avançado.

Segundo este critério as alternativas foram classificadas como mostra a tabela 5.30.

Tabela 5.30 – Preservação da Fauna

ALTERNATIVAS	PRESERVAÇÃO DA FAUNA
Alternativa. 1	PEQUENA
Alternativa. 2	MÉDIA
Alternativa.3	GRANDE
Alternativa. 4	MÉDIA
Alternativa. 5	GRANDE
Alternativa. 6	GRANDE
Alternativa. 7	PEQUENA
Alternativa.8	PEQUENA
Alternativa.9	MÉDIA

5.4- DETERMINAÇÃO DOS PESOS DOS CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO

Após a estruturação da hierarquia e a definição de todas as alternativas a serem analisadas é necessário determinar a “intensidade”, ou as prioridades dos elementos de um nível em relação à sua importância para um elemento no nível seguinte. Assim, pode-se obter a força relativa dos elementos sobre o objetivo geral. Esta é a finalidade desta etapa.

A metodologia AHP está implementada em um software denominado Expert Choice. O software funciona de maneira a estruturar rapidamente o modelo de decisão, organizando os dados relativos ao modelo e permitindo a votação e análise dos critérios de avaliação de maneira rápida e eficiente.

Neste trabalho, o software foi utilizado nesta fase de votação dos critérios de seleção das alternativas, agilizando a implementação do método.

Primeiramente, foram inseridos no software Expert Choice os dados referentes à árvore hierárquica dos critérios de decisão. Estes dados apresentam as seguintes abreviações:

Tabela 5.31 - Descrição dos dados inseridos no software Expert Choice

Abreviação	Descrição
ECONOMIA	ECONOMIA
DESEN.RE	DESENVOLVIMENTO REGIONAL
TRÂNSITO	TRÂNSITO
MEIOAMBI	MEIO AMBIENTE
C.OPERAC	CUSTOS OPERACIONAIS DOS VEÍCULOS
INVESTIM	INVESTIMENTOS
TEMPOVIA	CUSTO DE TEMPO DE VIAGEM
OP.VEÍCU	CUSTOS OPERACIONAIS DOS VEÍCULOS
ACIDENTE	CUSTOS DE ACIDENTES
ACESSIBI	ACESSIBILIDADE
S.PRIMÁR	EXPANSÃO DO SETOR PRIMÁRIO
S.SECUND	EXPANSÃO DO SETOR SECUNDÁRIO
SEGURANÇ	SEGURANÇA
COMUNIDA	COMUNIDADE LOCAL
USUÁRIOS	USUÁRIOS DA RODOVIA
CAP.VIA	CAPACIDADE DA VIA
CONFORTO	CONFORTO
EST.HABI	ESTABILIDADE HABITACIONAL
SONORA	QUALIDADE SONORA
ÁGUA	QUALIDADE DA ÁGUA
AR	QUALIDADE DO AR
PARQ/LAZ	PRESERVAÇÃO DE PARQUES E ÁREAS DE LAZER
AGRICULT	PRESERVAÇÃO DE ÁREAS AGRICULTÁVEIS

continuação

Tabela 5.31 - Descrição dos dados inseridos no software Expert Choice

HIT/CULT	PRESERVAÇÃO DE ÁREAS DE INTERESSE HISTÓRICO/ CULTURAL
VISUAL	PRESERVAÇÃO VISUAL
BIODIVER	BIODIVERSIDADE

Na figura 5.6 é possível observar os critérios de primeiro e segundo níveis da hierarquia inseridos no software Expert Choice. Assim como, o objetivo geral do modelo de decisão.

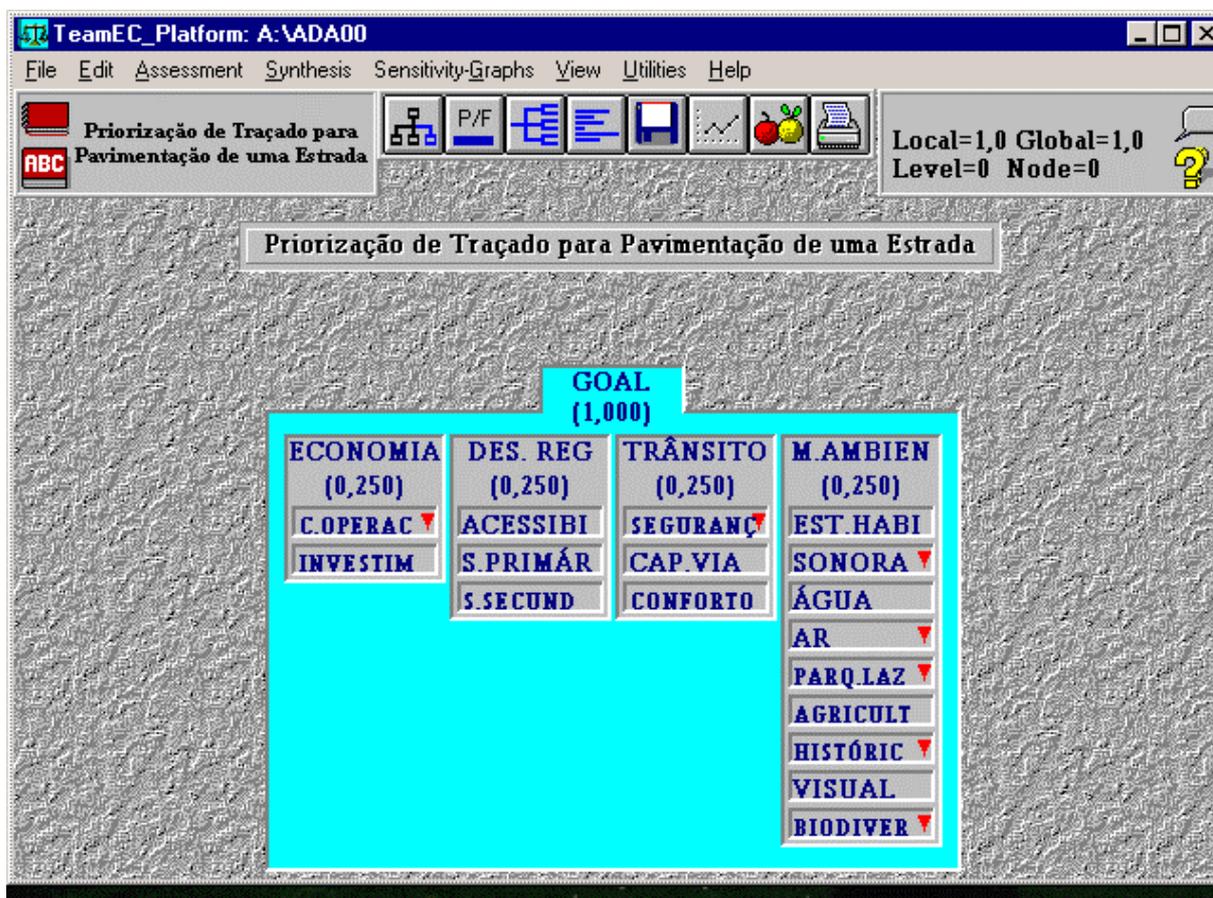


FIGURA 5.6 – Critérios de primeiro e segundo níveis da hierarquia inseridos no software.

A figura 5.7 mostra o critério ECONOMIA, os critérios de segundo nível investimentos e custos operacionais e os critérios de terceiro nível custos de tempo de viagem, custos de acidentes e custos operacionais dos veículos, inseridos no software.

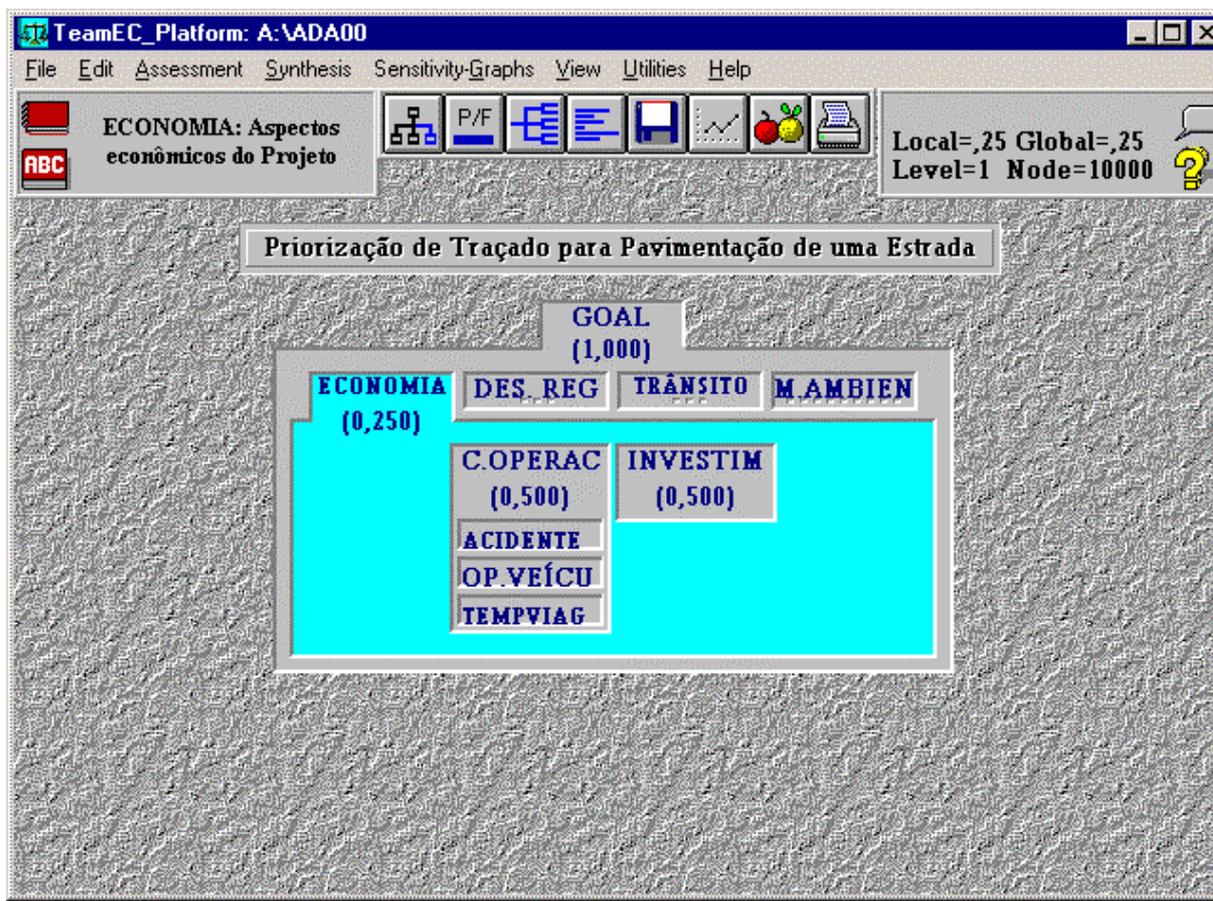


FIGURA 5.7 – Critério ECONOMIA, critérios de segundo e terceiro níveis.

Na figura 5.8 é possível observar o critério TRÂNSITO, os critérios de segundo nível conforto do usuário, capacidade da via e segurança e os critérios de terceiro nível comunidade local e usuários da rodovia, inseridos no software.

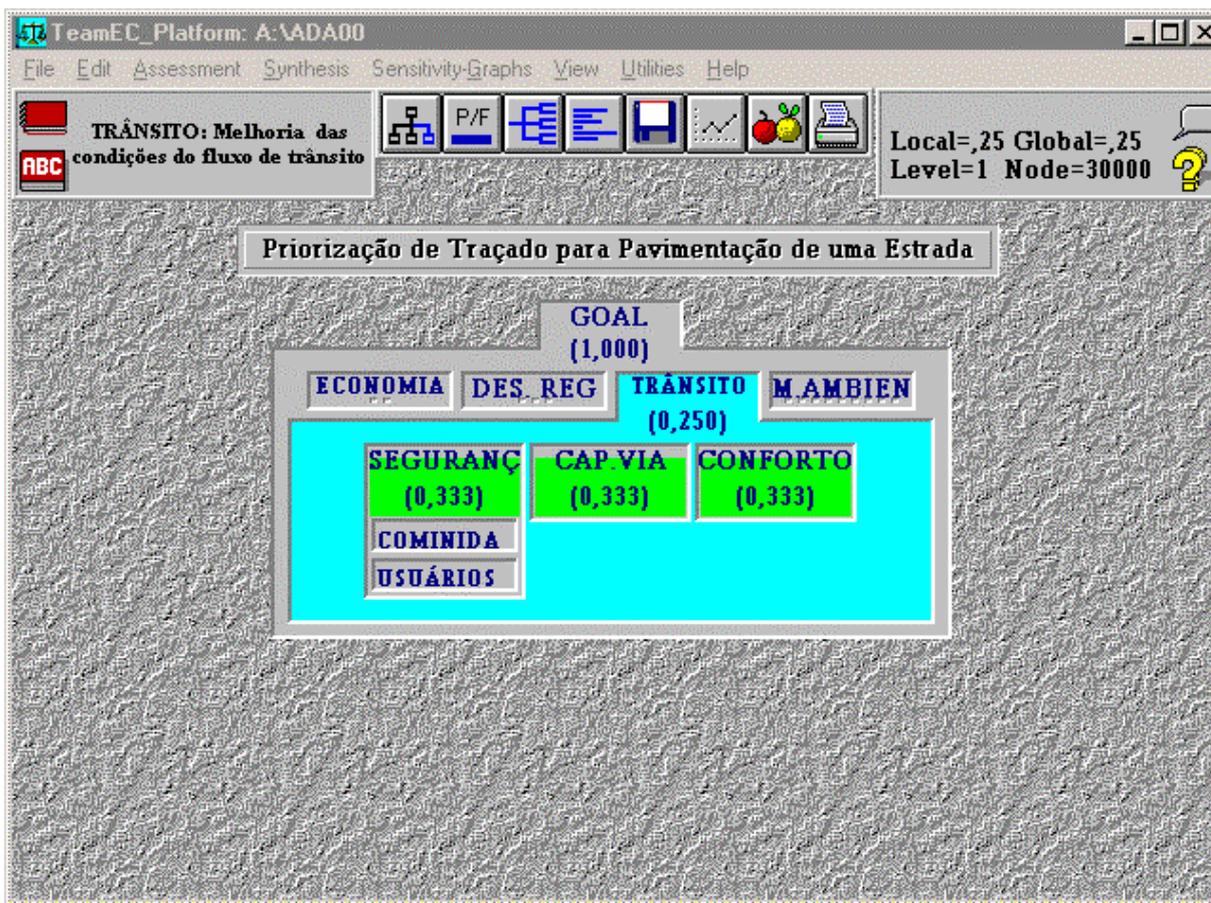


FIGURA 5.8 – Critério TRÂNSITO, critérios de segundo e terceiro níveis.

Desta forma, numa primeira etapa como o software, toda a árvore hierárquica dos critérios de decisão para priorização de traçado de pavimentação de uma estrada, desenvolvida nesta aplicação, foi inserida no modelo.

Na seqüência, fez-se a priorização dos critérios, por meio de votação verbal aos pares entre os critérios, por parte dos quatro especialistas do DER-SC.

Na figura 5.9 é possível observar a votação verbal entre dois critérios: “ECONOMIA” e “DESENVOLVIMENTO REGIONAL”, do participante 01.

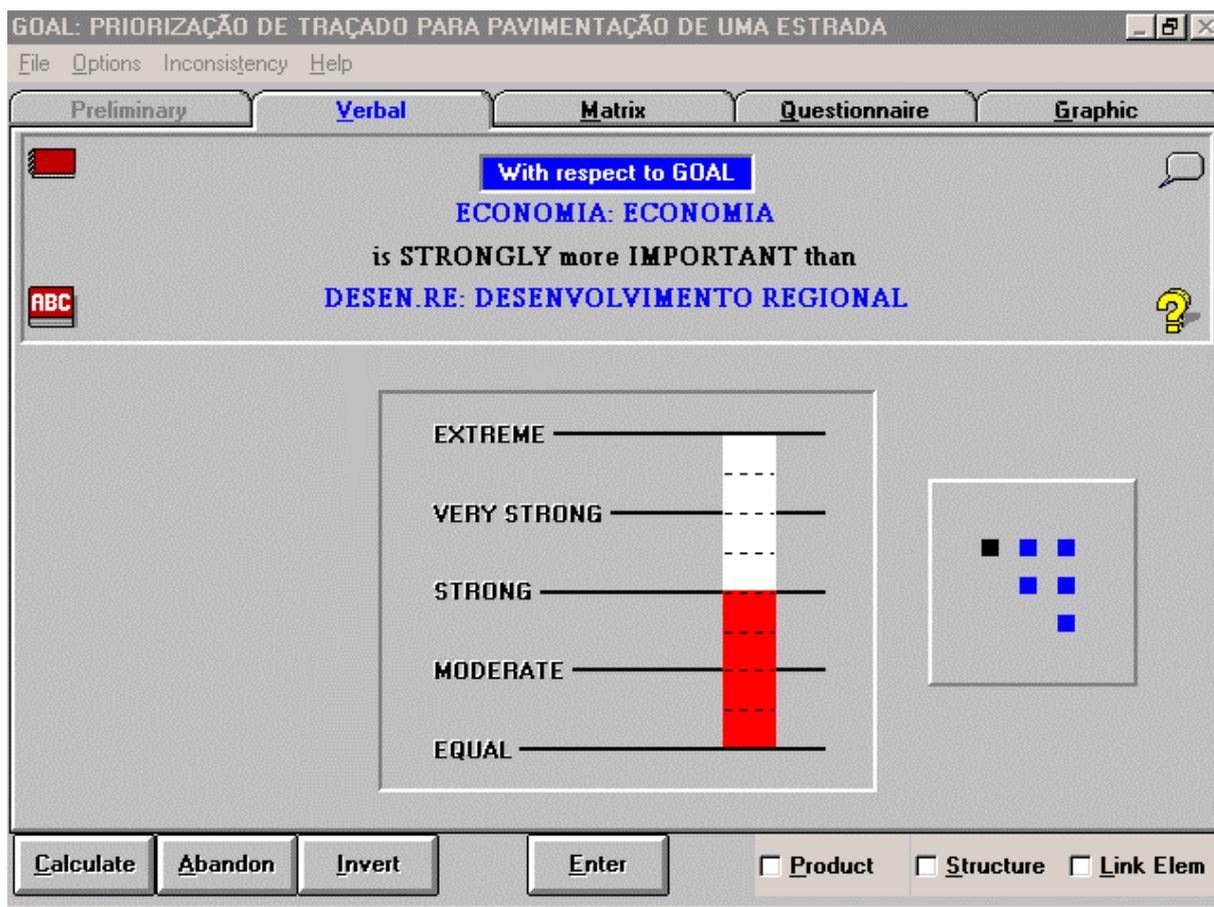


FIGURA 5.9 – Votação verbal entre dois critérios – Decisor : 01.

A figura 5.10 mostra a votação verbal entre os mesmos critérios anteriores, por parte do participante 02.

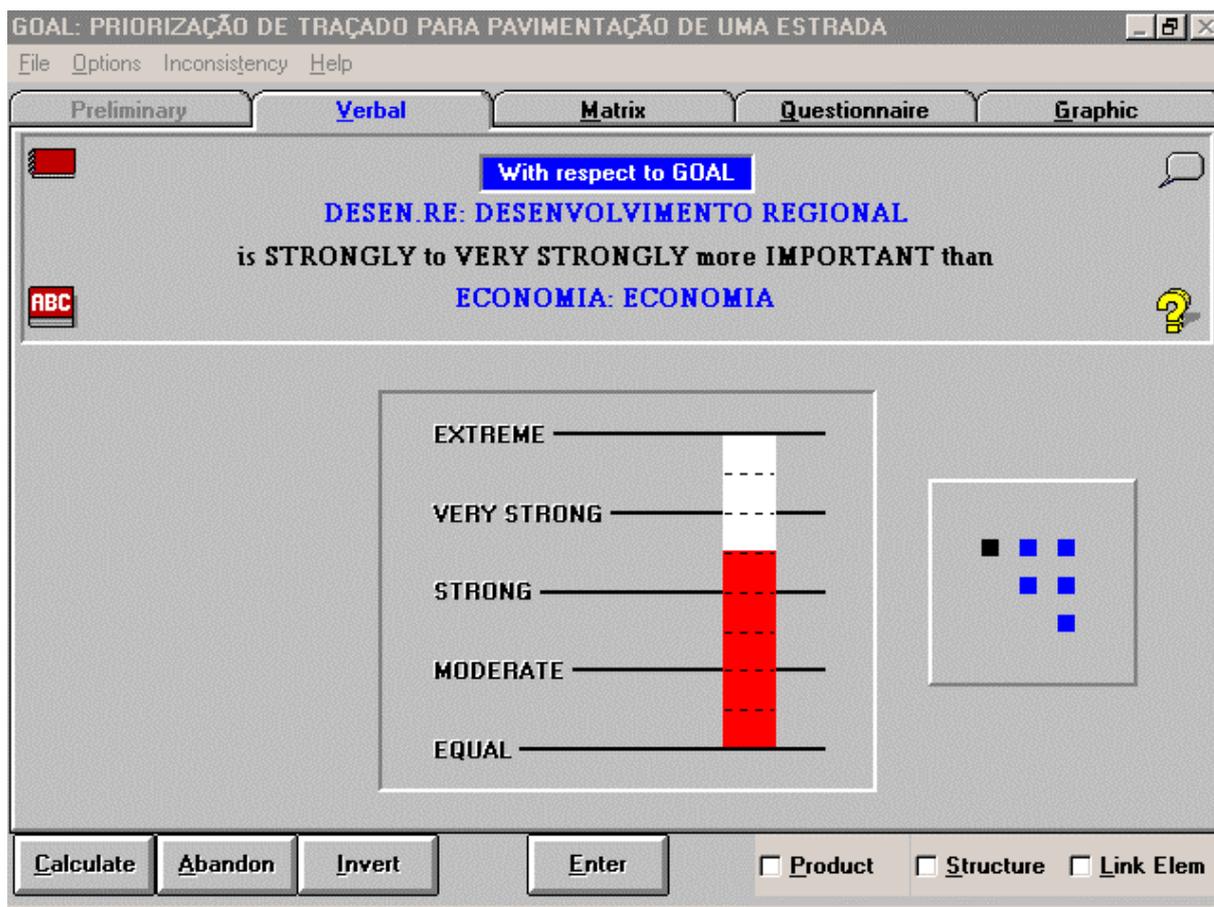


FIGURA 5.10 – Votação verbal entre dois critérios – Decisor: 02.

No software Expert Choice é possível inserir vários decisores. Os votos destes são computados de forma que, ao final das votações de cada par de critérios, é feita a média entre os votos dos participantes.

A figura 5.11 mostra o grupo de decisores inseridos no modelo, bem como seus votos referentes aos critérios: “ECONOMIA E DESENVOLVIMENTO REGIONAL”.



FIGURA 5.11 – Votação do grupo de decisores.

Desta forma, as votações de todos os pares de critérios, por parte de todos os decisores, foram inseridas no software. Nesta fase, é possível observar uma medida de inconsistência. Esta medida é útil para identificar possíveis erros nos julgamentos dos participantes.

No entanto, é importante que o software não impede inconsistências, ao contrário, muitas decisões podem ser feitas reconhecendo-se inconsistências que existem na prática.

Por exemplo, se um julgamento diz que o carro A custa 3 vezes mais que o carro B, o carro B custa 2 vezes mais que o carro C, para ser perfeitamente consistente, o julgamento deve dizer que o carro A custa 6 vezes mais que o carro C. Esta é a lógica matemática da idéia de consistência.

No entanto, muitas vezes na prática, não se pode ser totalmente consistente. Por exemplo, a equipe A vence a equipe B, a equipe B vence a equipe C e a equipe C vence a equipe A – uma inconsistência. O software permite que estas inconsistências do mundo real apareçam nos modelos de decisão.

O Expert Choice “sugere” uma medida lógica da consistência que deve ser menor que 0.10, no entanto, não força esta consistência.

Assim, nas figuras do ANEXO A é possível observar os resultados de priorização do grupo em relação aos critérios desta aplicação prática, assim como a inconsistência dos julgamentos.

Em um dos casos, a inconsistência ultrapassou a medida sugerida de 0,10. No entanto, pode ser justificada pelo fato de se tratar de um grupo de decisores onde, cada membro possui opiniões distintas. O fato de que, nesta aplicação, não foi possível reunir o grupo para que trocassem informações e discutissem idéias em conjunto também contribuiu neste sentido.

A figura 5.12 mostra toda a estrutura hierárquica que apresenta a composição dos critérios de avaliação e seus respectivos pesos, que são distribuídos dentre seus critérios componentes de forma a somar sempre 1. Dessa forma, os critérios efetivamente mensurados correspondem aos critérios que são subdivididos, ou “folhas” da árvore de critério, sendo sua importância propagada para os níveis hierarquicamente superiores segundo uma regra multiplicativa.

Exemplificando, a influência do subcritério “ACESSIBILIDADE” é 0,08 ($0,491 \times 0,165$), o que corresponde ao próprio peso do subcritério, multiplicado pelo peso do critério hierarquicamente superior. Essa lógica é repetida até que se atinja os critérios principais.

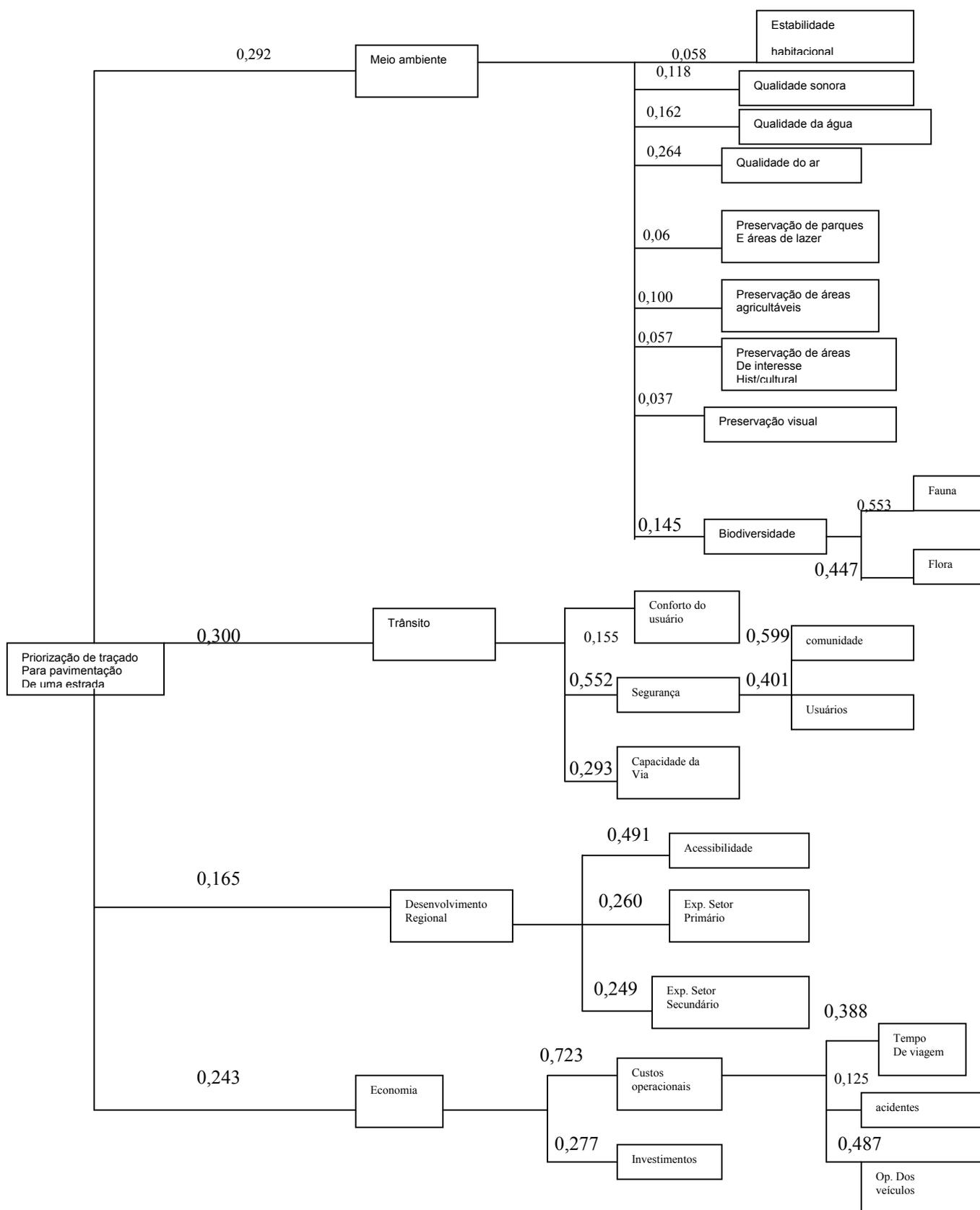


FIGURA 5.12 – Árvore hierárquica com seus referidos pesos.

5.5- A FASE DE ANÁLISE DAS ALTERNATIVAS

Cada alternativa de traçado a ser analisada atende, com intensidades diferentes, a cada critério. Para cada critério tem-se uma escala de intensidades a ser definida. Nas figuras do ANEXO B é possível observar a escala de intensidades, de alguns critérios, inserida no software Expert Choice.

A tabela 5.32 apresenta a escala de intensidades para os critérios do modelo de decisão.

Tabela 5.32 – Escala de intensidades dos critérios de decisão

CRITÉRIO	INTENSIDADES									
INVESTIMENTOS	Alt1	Alt2	Alt3	Alt4	Alt5	Alt6	Alt7	Alt8	Alt9	
CUSTOS DE TEMPO DE VIAGEM	Alt1	Alt2	Alt3	Alt4	Alt5	Alt6	Alt7	Alt8	Alt9	
CUSTOS OP. DOS VEÍCULOS	Alt1	Alt2	Alt3	Alt4	Alt5	Alt6	Alt7	Alt8	Alt9	
CUSTOS DE ACIDENTES	Alt1	Alt2	Alt3	Alt4	Alt5	Alt6	Alt7	Alt8	Alt9	
ACESSIBILIDADE	ALTA		MÉDIA			BAIXA		MUITO BAIXA		
EXP. DO SETOR PRIMÁRIO	ALTA			MÉDIA			BAIXA			
EXP. DO SETOR SECUNDÁRIO	ALTA			MÉDIA			BAIXA			
CAPACIDADE DA VIA	A		B		C		D		E	F
SEGURANÇA P/ COMUNIDADE	MUITO ALTA		ALTA			MÉDIA		BAIXA		
SEGURANÇA P/ USUÁRIOS	SIM					NÃO				
CONFORTO	ALTO		MÉDIO			BAIXO		MUITO BAIXO		
ESTABILIDADE HABITACIONAL	Alt1	Alt2	Alt3	Alt4	Alt5	Alt6	Alt7	Alt8	Alt9	
QUALIDADE SONORA	MUITO ALTA		ALTA			MÉDIA		BAIXA		
QUALIDADE DA ÁGUA	Alt1	Alt2	Alt3	Alt4	Alt5	Alt6	Alt7	Alt8	Alt9	
QUALIDADE DO AR	ALTA					BAIXA				
PRESERV. DE PARQUES E LAZER	PRESERVA					NÃO PRESERVA				
PRESERV. DE ÁREAS AGRICULTÁVEIS	Alt1	Alt2	Alt3	Alt4	Alt5	Alt6	Alt7	Alt8	Alt9	
PRESERVAÇÃO VISUAL	Alt1	Alt2	Alt3	Alt4	Alt5	Alt6	Alt7	Alt8	Alt9	

PRESERV. DE ÁREAS HIST. CULTURAL	PRESERVA	NÃO PRESERVA
----------------------------------	----------	--------------

Após a definição da escala de intensidades, é necessário definir a medida dos valores dos impactos. Assim, no Software Expert Choice, os valores dos impactos são inseridos e normalizados de maneira linear, como pode ser observado nas figuras do ANEXO C.

A tabela 5.33 mostra a definição da medida dos valores dos impactos.

Tabela 5.33 – Valores dos impactos mensurados .

CRITÉRIO	VALORES DOS IMPACTOS								
	Alt1	Alt2	Alt3	Alt4	Alt5	Alt6	Alt7	Alt8	Alt9
INVESTIMENTOS	1,50	1,44	0,74	0,91	0,65	0,83	7,47	7,54	7,01
CUSTOS DE TEMPO DE VIAGEM	0,55	0,60	0,53	0,46	0,40	0,35	3,93	3,53	3,97
CUSTOS OP. DOS VEÍCULOS	1,38	1,49	1,37	1,23	1,05	0,94	9,90	9,12	10,13
CUSTOS DE ACIDENTES	1	1	1	1	1	1	1	1	1
ACESSIBILIDADE	ALTA 9		MÉDIA 6		BAIXA 4		M. BAIXA 0		
EXP. DO SETOR PRIMÁRIO	ALTA 9		MÉDIA 4		BAIXA 0				
CAPACIDADE DA VIA	A 9	B 6		C 4	D 3	E 2		F 1	
EXP. DO SETOR SECUNDÁRIO	ALTA 9		MÉDIA 4		BAIXA 0				
SEGURANÇA P/ COMUNIDADE	M. ALTA 9		ALTA 6		MÉDIA 4		BAIXA 0		
SEGURANÇA P/ USUÁRIOS	SIM 9				NÃO 0				
CONFORTO	ALTO 9		MÉDIO 6		BAIXO 4		M. BAIXO 0		
ESTABILIDADE HABITACIONAL	Alt1 2	Alt2 1	Alt3 0	Alt4 1	Alt5 0	Alt6 0	Alt7 1	Alt8 1	Alt9 2
QUALIDADE SONORA	M. ALTA 9		ALTA 6		MÉDIA 4		BAIXA 0		
QUALIDADE DA ÁGUA	Alt1 1	Alt2 0	Alt3 0	Alt4 0	Alt5 0	Alt6 0	Alt7 4	Alt8 3	Alt9 2
QUALIDADE DO AR	ALTA 9				BAIXA 0				
PRESERV. DE PARQUES E LAZER	PRESERVA 9				NÃO PRESERVA 0				
PRESERV. DE ÁREAS AGRICULTÁVEIS	Alt1 1	Alt2 70	Alt3 1	Alt4 280	Alt5 1	Alt6 1	Alt7 1070	Alt8 670	Alt9 530
PRESERVAÇÃO VISUAL	Alt1 1000	Alt2 330	Alt3 80	Alt4 260	Alt5 1	Alt6 1	Alt7 1710	Alt8 1340	Alt9 1590

PRESERV. DE ÁREAS HIST. CULTURAL	PRESERVA 9	NÃO PRESERVA 0
--	----------------------	--------------------------

Após a definição da medida de todos os valores dos impactos, a análise das alternativas pode ser realizada. Na seqüência, supondo que a pavimentação é viável, serão analisadas todas as alternativas de traçado.

As intensidades com que as alternativas atendem a cada critério são inseridas no software Expert Choice de forma que, cada alternativa é pontuada em função dos critérios. Esta pontuação é possível de ser observada nas figuras do ANEXO D.

Após ter sido realizada a pontuação das alternativas em função de todos os critérios, o Software Expert Choice apresenta uma coluna de Prioridades. Assim, esta será a priorização final das alternativas analisadas, em relação a todos os critérios de avaliação do modelo de decisão.

As tabelas seguintes mostram as contribuições totais de cada alternativa por critério, assim como a priorização final das alternativas, em relação a todos os critérios.

TABELA 5.34 – Priorização final e contribuição por critério das alternativas 1 e 2.

CRITÉRIO	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2
Custos de tempo de viagem	-0,55	-0,60
Custos op. Dos veículos	-1,38	-1,49
Investimentos	-1,50	-1,44
Acessibilidade	Baixa	Alta
Capacidade da via	B	C
Exp. Setor Primário	Alta	Baixa
Exp. Setor Secundário	Alta	Alta
Segurança p/ comunidade local	Alta	Baixa
Segurança p/ os usuários	Sim	Sim
Conforto do usuário	Médio	Muito Baixo
Estabilidade Habitacional	-2	-1
Qualidade Sonora	M. Alta	M. Alta
Qualidade da Água	-1	0
Qualidade do ar	Alta	Baixa
Preservação de Parques e áreas de lazer	Preserva	Preserva
Preservação de áreas agricultáveis	-1	-70
Preservação de áreas de interesse hist./cultural	Preserva	Preserva
Preservação Visual	-1000	-330
Preserv da fauna	Pequena	Média
Preserv. Da flora - capoeirões	-840	-510
Preserv. Da flora – capoeiras	-290	-180
Preserv. Da flora - capoeirinhas	-70	-140
PRIORIZAÇÃO FINAL	0,551	0,449

TABELA 5.35 – Priorização final e contribuição por critério das alternativas 3 e 4.

CRITÉRIO	ALTERNATIVA 3	ALTERNATIVA 4
Custos de tempo de viagem	-0,53	-0,46
Custos op. Dos veículos	-1,37	-1,23
Investimentos	-0,74	-0,91
Acessibilidade	Alta	Média
Capacidade da via	B	B
Exp. Setor Primário	Alta	Baixa
Exp. Setor Secundário	Alta	Alta
Segurança p/ comunidade local	Baixa	Alta
Segurança p/ os usuários	Não	Sim
Conforto do usuário	Muito Baixo	Alto
Estabilidade Habitacional	0	-1
Qualidade Sonora	M. Alta	M. Alta
Qualidade da Água	0	0
Qualidade do ar	Baixa	Alta
Preservação de Parques e áreas de lazer	Preserva	Preserva
Preservação de áreas agricultáveis	-1	-280
Preservação de áreas de interesse hist./cultural	Preserva	Preserva
Preservação Visual	-80	-260
Preserv da fauna	Grande	Média
Preserv. Da flora - capoeirões	-50	-510
Preserv. Da flora – capoeiras	-1	-320
Preserv. Da flora - capoeirinhas	-1	-230
PRIORIZAÇÃO FINAL	0,462	0,538

TABELA 5.36 – Priorização final e contribuição por critério das alternativas 5 e 6.

CRITÉRIO	ALTERNATIVA 5	ALTERNATIVA 6
Custos de tempo de viagem	-0,40	-0,35
Custos op. Dos veículos	-1,05	-0,94
Investimentos	-0,65	-0,83
Acessibilidade	Alta	Média
Capacidade da via	B	B
Exp. Setor Primário	Média	Média
Exp. Setor Secundário	Alta	Alta
Segurança p/ comunidade local	Baixa	Alta
Segurança p/ os usuários	Não	Sim
Conforto do usuário	M. Baixo	Alto
Estabilidade Habitacional	0	0
Qualidade Sonora	M. Alta	M. Alta
Qualidade da Água	0	0
Qualidade do ar	Alta	Alta
Preservação de Parques e áreas de lazer	Preserva	Preserva
Preservação de áreas agricultáveis	-1	-1
Preservação de áreas de interesse hist./cultural	Preserva	Preserva
Preservação Visual	-1	-1
Preserv da fauna	Grande	Grande
Preserv. Da flora - capoeirões	-1	-1
Preserv. Da flora – capoeiras	-1	-1
Preserv. Da flora - capoeirinhas	-1	-1
PRIORIZAÇÃO FINAL	0,545	0,455

TABELA 5.37 – Priorização final e contribuição por critério das alternativas 7,8 e 9.

CRITÉRIO	Aalternativa 7	Alternativa 8	Alternativa 9
Custos de tempo de viagem	-3,93	-3,53	-3,97
Custos op. Dos veículos	-9,90	-9,12	-10,13
Investimentos	-7,47	-7,54	-7,01
Acessibilidade	Alta	Média	Alta
Capacidade da via	C	A	B
Exp. Setor Primário	Baixa	Baixa	Média
Exp. Setor Secundário	Alta	Alta	Alta
Segurança p/ comunidade local	Baixa	M. Alta	Baixa
Segurança p/ os usuários	Não	Sim	Não
Conforto do usuário	M. Baixo	Alto	M. Baixo
Estabilidade Habitacional	-1	-1	-2
Qualidade Sonora	M. Alta	M. Alta	M. Alta
Qualidade da Água	-4	-3	-2
Qualidade do ar	Baixa	Alta	Baixa
Preservação de Parques e áreas de lazer	Preserva	Preserva	Preserva
Preservação de áreas agricultáveis	-1070	-670	-530
Preservação de áreas de interesse hist./cultural	Preserva	Preserva	Preserva
Preservação Visual	-1710	-1340	-1590
Preserv da fauna	Pequena	Pequena	Média
Preserv. Da flora - capoeirões	-2120	-2940	-1450
Preserv. Da flora – capoeiras	-420	-920	-770
Preserv. Da flora - capoeirinhas	-280	-780	-250
PRIORIZAÇÃO FINAL	0,277	0,415	0,308

Nesta aplicação as alternativas foram analisadas de forma independente, ou seja, Alternativa 1 e Alternativa 2; Alternativa 3 e Alternativa 4; Alternativa 5 e Alternativa 6; Alternativa 7, Alternativa 8 e Alternativa 9. É importante destacar que se,

para o projeto como um todo, existisse uma restrição seria necessário trabalhar com as combinações das alternativas.

Assim, partindo-se das análises individuais das alternativas no trecho tem-se que, a melhor opção do traçado como um todo é composta por: **Alternativa 1, Alternativa 4 e Alternativa 8.**

Comparando-se os resultados obtidos aqui, com os resultados obtidos, pelo DER-SC, para o mesmo trecho, tem-se que:

- Sob uma análise interdisciplinar, como o DER-SC coloca, a melhor alternativa de traçado coincide com a alternativa obtida nesta aplicação, ou seja, Alternativa 1, Alternativa 4 e Alternativa 8;

- Sob uma ótica de análise econômica, a Alternativa 3 é indicada em relação a Alternativa 4, o que não coincide com a indicação desta aplicação multicriterial.

- A Alternativa 8, apesar do grande impacto ao meio ambiente, foi priorizada pelo DER-SC e por esta aplicação. No entanto, é importante destacar que, a priorização final depende dos decisores e dos pesos atribuídos por estes aos critérios de decisão envolvidos.

Após ter sido realizada a primeira análise, supondo que a pavimentação é viável, tem-se como resultado final o melhor traçado de pavimentação. Assim, este traçado está composto de: **Alternativa 1, Alternativa 4 e Alternativa 8.** Em uma segunda etapa será feita a comparação entre a Alternativa 0 (**não pavimentar**) e a alternativa de pavimentar pelo melhor traçado (**Alt.1,Alt4 e Alt8**).

A tabela 5.38 mostra a classificação, por critério, das alternativas de não pavimentar e de pavimentar pelo melhor traçado (**Alt.1,Alt4 e Alt8**).

TABELA 5.38 – Classificação das alternativas: Não Pavimentar e Pavimentar pelo melhor traçado.

CRITÉRIO	NÃO PAVIMENTAR (ALT.0)	PAVIMENTAR (ALT.1,ALT.3,ALT.8)
Custos de tempo de viagem (Milhões de dólares)	-7,31	-4,54
Custos op. Dos veículos (Milhões de dólares)	-20,64	-11,73
Custos de Acidentes	-2,3	-1
Investimentos (Milhões de reais)	-----	-9,96
Acessibilidade	Muito Baixa	Alta
Capacidade da via	33	85
Exp. Setor Primário	Baixa	Alta
Exp. Setor Secundário	Baixa	Alta
Segurança p/ comunidade local	Alta	Média
Segurança p/ os usuários	Média	Média
Conforto do usuário	Muito Baixo	Alto
Estabilidade Habitacional	_____	-4
Qualidade Sonora	Média	Muito Alta
Qualidade da Água	_____	-4
Qualidade do ar	Baixa	Alta
Preservação de Parques e áreas de lazer	Preserva	Preserva
Preservação de áreas agricultáveis	_____	-950
Preservação de áreas de interesse hist./cultural	Preserva	Preserva
Preservação Visual	_____	-2600
Preserv da fauna	Grande	Pequena
Preserv. Da flora - capoeirões	_____	-4290
Preserv. Da flora – capoeiras	_____	-1530
Preserv. Da flora - capoeirinhas	_____	-1080

Desta forma, foram inseridos no software os dados para a Alternativa 0 (não pavimentar) e esta foi comparada com as alternativas 1,4 e 8.

Após ter sido realizada a pontuação das alternativas em função de todos os critérios, o Software Expert Choice apresenta a coluna de Prioridades. Na figura seguinte é possível observar a priorização final das alternativas analisadas.

	Alternatives	PRIORIT Y	ECONOMIA- C. OPERAC- TEMPOVIA	----- OP. VEÍCU	----- ACIDENTE	----- INVESTIM	DESEN.F ACESSII
1	NÃO PAVIMENTAR	0,438	NÃO PAVIM	NÃO PAVIM	NÃO PAVIM	NÃO PAVIM	M. BAIXA
2	PAVIMENTAR	0,562	PAVIMENT	PAVIMENT	PAVIMENT	PAVIMENT	ALTA
3		0,000					
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							

FIGURA 5.13- Priorização final das alternativas: Não Pavimentar e Pavimentar.

Assim, partindo-se da análise multicriterial, em relação a viabilidade da pavimentação, tem-se que a melhor opção é a da realização da obra, com uma priorização de 0,562 em relação a todos os critérios.

Este resultado coincide com a indicação, pelo DER-SC, de viabilidade desta obra.

CAPÍTULO VI

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

Os problemas de tomada de decisão são constantes no dia-a-dia. Pode-se dizer que a competência que o ser humano possui de escolher, julgar, analisar é uma expressão de sua própria liberdade de pensamento. Isto é o que diferencia o homem racional de outras formas de vida irracionais.

Muitas decisões são tomadas de forma tão rotineira que até parecem serem feitas de forma inconsciente. No entanto, existem procedimentos de tomada de decisão que exigem uma análise mais aprofundada, antes de se resolver sobre que ação tomar, principalmente no que se refere a projetos mais complexos.

Difícilmente se poderia dizer que qualquer um age de forma inteiramente racional, por toda sua vida. Ainda hoje, mesmo em alguns projetos empresariais, verifica-se que uma forma de tomada de decisões muito usada é aquele que se fundamenta nos julgamentos intuitivos, no chamado “felling”. Agir desta forma, não significa necessariamente que serão tomadas decisões erradas, no entanto, seria mais “seguro” se os componentes do problema de decisão fossem tratados de forma organizada, com base em análises melhor examinadas.

A partir de análises mais aprofundadas do problema de decisão, tem-se maior precisão no processo, e a probabilidade de se tomar decisões corretas, ou seja, de se chegar a soluções mais adequadas à situação, é maior.

No mundo atual, as pessoas estão sendo forçadas a tomarem decisões em intervalos cada vez menores e a escolher entre opções que

se multiplicam rapidamente. Na sociedade atual, as informações têm que ser processadas num ritmo muito mais rápido, destacando-se, assim, a importância do conhecimento sobre o processo decisório e sobre as metodologias multicritério.

A importância das metodologias multicritério de apoio à decisão repousa no fato de que, a incorporação de fatores, quantitativa e não quantitativamente mensuráveis, é de fundamental importância nos contextos decisórios da atualidade.

Uma metodologia multicritério de apoio à decisão permite contemplar objetivos que requerem uma visão ampla que possa abranger vários critérios. Esta visão, surge como medida orientadora em relação às mudanças de pensamento apresentadas pela sociedade atualmente.

Existem várias correntes metodológicas, que tratam, de forma diferenciada, a metodologia multicritério de apoio à decisão. O trabalho procurou aprofundar-se em relação a metodologia multicritério de apoio à decisão AHP. No entanto, cabe destacar que existem outras correntes de grande importância neste sentido.

A metodologia AHP apresenta grandes vantagens como a facilidade de uso e a habilidade de manusear com diversos julgamentos, mesmo os inconsistentes.

A necessidade de se entender o contexto do problema, seus objetivos e suas características específicas fez com que grande importância fosse dada à fase de estruturação do problema. Nesta fase, o problema deve ser estruturado de forma a representar os aspectos da realidade que devem ser analisados e que têm influência significativa na decisão a ser tomada.

Desta forma, representar, em um modelo apropriado aos objetivos da decisão, a realidade do contexto decisório é uma das tarefas

mais difíceis de todo o processo de tomada de decisão e muitas vezes responsável pelo sucesso ou fracasso deste processo.

O modelo desenvolvido neste trabalho é apropriado para o contexto aqui descrito, mas pode servir de base em outros contextos decisórios. Cada modelo deve adequar-se ao contexto específico, aos decisores e aos seus objetivos.

No que se refere ao software computacional aqui usado, ou seja, EXPERT CHOICE, é clara a facilidade que o mesmo proporciona, tanto em relação a construção de figuras e gráficos que facilitam a compreensão do problema, quanto da facilidade em se realizar a fase de votação dos critérios, com vários decisores.

No entanto, é importante ressaltar que o conhecimento do funcionamento deste software e de toda a metodologia AHP, na qual ele está baseado, é de fundamental importância para sua correta utilização e interpretação dos resultados.

Em relação ao exemplo desenvolvido na aplicação prática, ele pode servir de base para outros casos de priorização de traçado de pavimentação. Ele permite ilustrar o tipo de levantamento a ser realizado e alguns critérios básicos a serem utilizados.

Como recomendações para trabalhos futuros, sugere-se ampliar o trabalho aqui desenvolvido, visando obter informações não só de um setor, como neste caso, alguns especialistas do DER-SC, mas envolvendo outros setores, tais como, representantes ligados ao meio ambiente, representantes da comunidade local envolvida, Prefeituras, empresários da região, etc.

Uma outra sugestão, relacionada a uma das limitações deste trabalho, diz respeito ao desenvolvimento de estudos mais aprofundados

em relação a construção de mapas cognitivos, e a importância destes na construção do modelo de avaliação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BAASCH, S. S. N. **Um sistema de suporte multicritério aplicado na gestão dos resíduos sólidos nos municípios catarinenses**. Florianópolis: PPEPS/UFSC, 1995. [Tese para obtenção do título de Doutor em Engenharia]

CASAROTTO, N. F. **Anteprojeto industrial: das estratégias empresariais à engenharia**. Florianópolis: PPEPS/UFSC, 1995. [Tese para obtenção do título de Doutor em Engenharia]

CHECKLAND, P. B. "From optimizing to learning: a development of systems thinking for the 1990s". **Journal of Operational Research Soc.**, v. 36, n. 9, p. 757-767. 1985.

CORRÊA, E. C. **Construção de um modelo multicritério de apoio ao processo decisório**. Florianópolis: UFSC, 1996. [Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas]

DERSA Desenvolvimento Rodoviário S.A. **Definição de prioridades para estradas vicinais**. Aplicação do Método de Análise Multicritério. Relatório, São Paulo. Jun/2001.

DETTMER, A. M. **A análise do portfólio de produtos de empresas industriais como um processo de decisão multicriterial**, Um modelo de aplicação genérica. Florianópolis: UFSC, 1994. [Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas]

EHRlich, P. J. Modelos quantitativos de apoio às decisões 1. **Revista de Administração de Empresas**. São Paulo: FGV, v. 36, n. 1, p. 33-41. Jan./fev./mar.-1996.

_____. Modelos quantitativos de apoio às decisões 2. **Revista de Administração de Empresas**. São Paulo: FGV, v. 36, n. 2, p. 44-52. Abr./maio/jun.-1996.

MARCH J. G.; SIMON, H. A. **Organizations**. New York: Graduate School of Industrial Administration Carnegie Institute of Technology, 1958.

NOVAES, A. G. **Sistemas logísticos: transporte, armazenagem e distribuição física de produtos**. São Paulo: Edgard Blücher, 1989.

PALADINI, E. P. **Gestão da qualidade no processo**. A qualidade na produção de bens e serviços. São Paulo: Atlas, 1995.

PEREIRA, B. M. J. L.; FONSECA, M. J. G. **Faces da decisão**. As mudanças de paradigmas e o poder da decisão. São Paulo: Makron Books, 1997.

PEREIRA, W. A. N.; MOREIRA, M. L. P. Estruturação de um modelo multicritério de desempenho operacional do transporte público por ônibus. *In: XV Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes – ANPET 2001*. Campinas. p. 263-268.

PIDD, M. **Modelagem empresarial**. Ferramentas para a tomada de decisão. Porto Alegre: Bookman, 1998.

PROSUL Projetos, Supervisão e Planejamento Ltda. **Projeto de Implantação e Pavimentação – Trecho: São João do Itaperiú – Massaranduba**. Santa Catarina: DER, v.3. 2001.

RABBANI, Simin J. R.; RABBANI, Soheil R. **Decisions in transportation with the analytic hierarchy process**. Paraíba: Civil Engineering Department, 1996.

ROSENHEAD, J. **Rational analysis for a problematic world – Problem structuring methods for complexity, uncertainty and conflict**. John Wiley & Sons. (1989).

ROY, B. **Méthodologie multicritère d'aide à la décision**. Paris: Economica, 1985.

SCHMIDT, A. A. M. **Processo de apoio à tomada de decisão abordagens: AHP e MACBETH**. Florianópolis: UFSC, 1995. [Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas]

SECRETARIA DOS TRANSPORTES. **Plano diretor de desenvolvimento de transportes (PDDT 2000/2020)**. Governo do Estado de São Paulo. São Paulo, 2000.

SIMON, H. A. **Administrative behaviour**. A Study of Decision – Making Processes in Administrative Organization. New York: The Free Press, 1965.

TANCZOS, K. **“Multicriteria evaluation methods and group decision systems for transport infrastructure development projects”**. Operations Research and Decision Aid Methodologies in Traffic and Transportation Management. Nato, 1997.

WISINTAINER, L. C. **Vantagens do uso da metodologia multicritério de apoio à decisão em um órgão público estadual**. Florianópolis: UFSC, 1999. [Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas]

BIBLIOGRAFIA

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.

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 – Método multicritério para segmentação ordenada. **Investigação Operacional**, v. 10, p. 19-28, junho de 1990.

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

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

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

CASSARO, A. C. **Sistema de Informações para Tomada de Decisões**. São Paulo: Pioneira, 1994.

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

COSTA, M. B. B.; LINDAU, L. A; SOUSA, F. B. B.; FOGLIATTO, F. Estudo comparativo entre empresas de ônibus utilizando AHP: o caso das empresas consorciadas de Porto Alegre. In: **XV Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes – ANPET 2001**. Campinas. p. 135-142.

HEGDE, G.G., TADIKAMALLA, P.R. Site selection for a "sure service terminal. **European Journal of Operational Research**, v.48, p. 77-80, 1990.

KEENEY, R.L. Building models of values, **European Journal of Operational Research**, v.37, p.149-157, 1988.

_____, **Value Focused Thinking: A path to creative Decisionmaking**, London: Harvard University Press, 1992.

LIM, K. H., SWENSETH, S.R. Na iterative procedure for reducing problem size in large scale AHP problems. **European Journal of Operational Research**, v.67, p. 64-79, 1993.

FIGUEIREDO, A.; GRANEMANN, S.; ROCHA, I. Aplicação do método DELPHI e AHP como mecanismo de identificação das necessidades de qualificação de recursos humanos em logística. *In: XV Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes – ANPET 2001*. Campinas. p. 227-231.

SAATY, T. L. “How to make a decision: the analytic hierarchy process”. **European Journal of Operational Research**. Amsterdam: North Holland, 48, p. 9-26, 1990.

_____. **Método de análise hierárquica**. São Paulo: McGraw-Hill, Makron, 1991.

_____. **The analytic hierarchy process**. New York: McGraw-Hill, 1980.

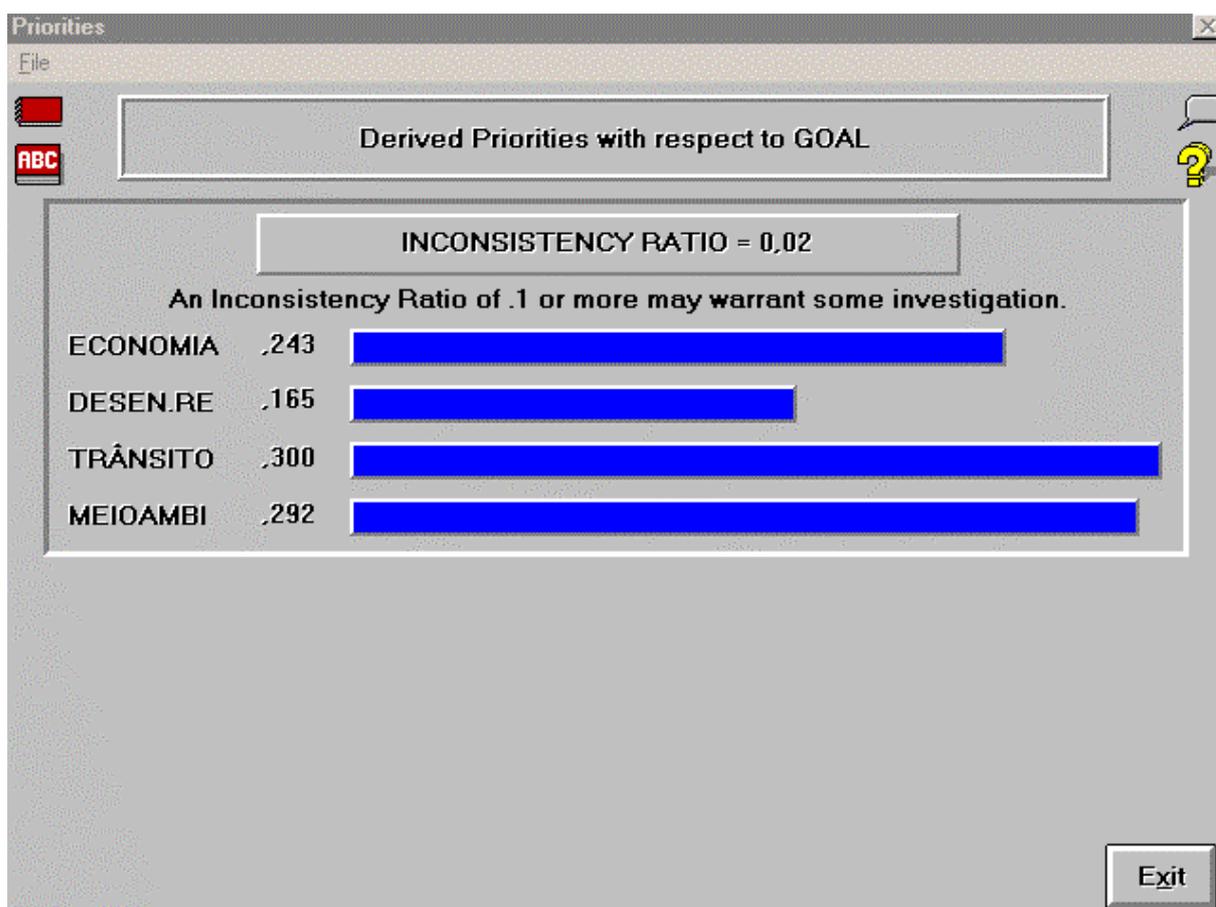
VARGAS, L. G. An overview of the analytic hierarchy process and its applications, **European Journal of Operational Research**, v.48, p. 2-8, 1990.

VARLAN, E.; PAILLIER, R. Le. “Multicriteria decision making for contract research organisation choice in the pharmaceutical industry”. **Journal of Operational Research Society**. v. 50, n. 9, p. 943-948. 1999.

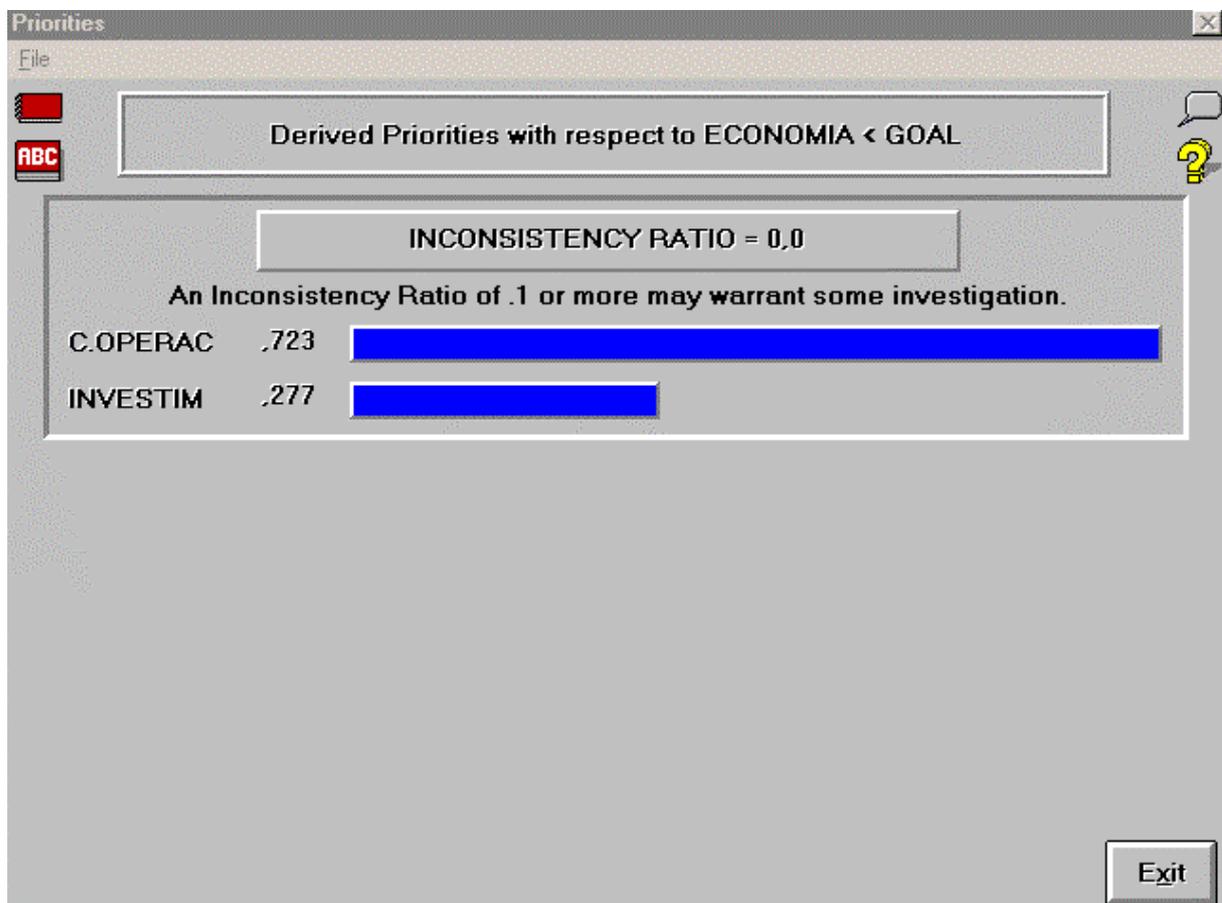
YEH. C.; DENG. H.; PAN. H. “Multi-criteria analysis for dredger dispatching under uncertainty ”. **Journal of Operational Research Soc**. v. 50, n. 1, p. 35-43. 1999.

ANEXO A

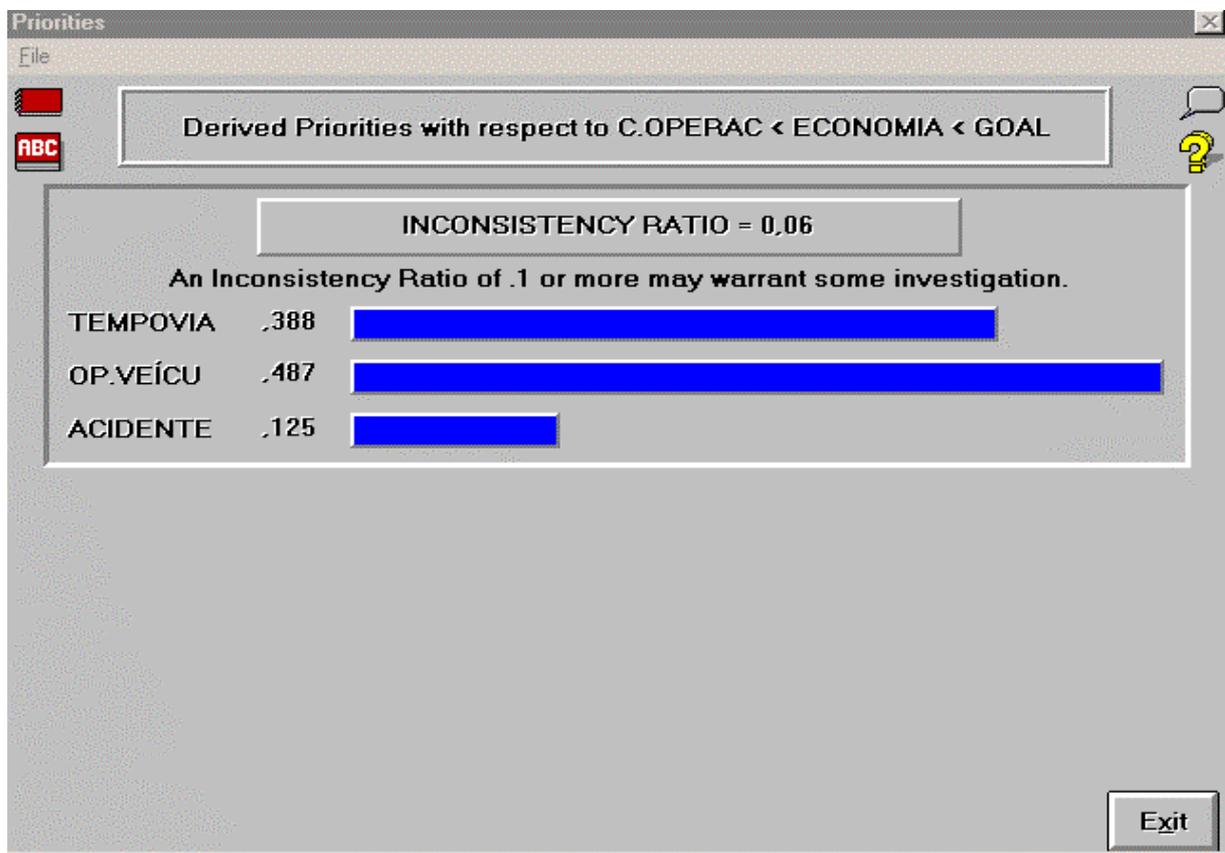
SOFTWARE EXPERT CHOICE: RESULTADOS DE PRIORIZAÇÃO DO GRUPO EM RELAÇÃO AOS CRITÉRIOS DA APLICAÇÃO PRÁTICA



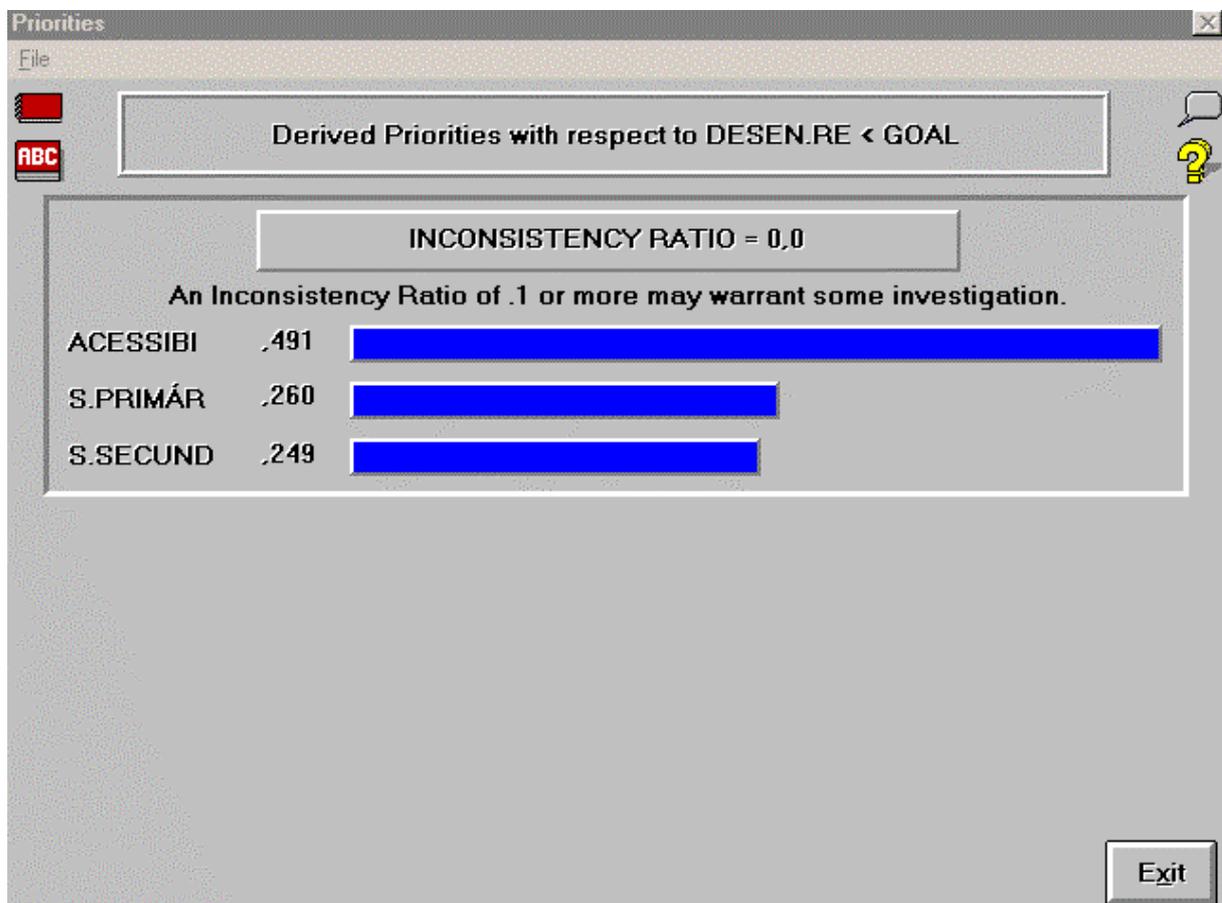
Crítérios principais priorizados, em relação ao objetivo geral, apés votações do grupo.



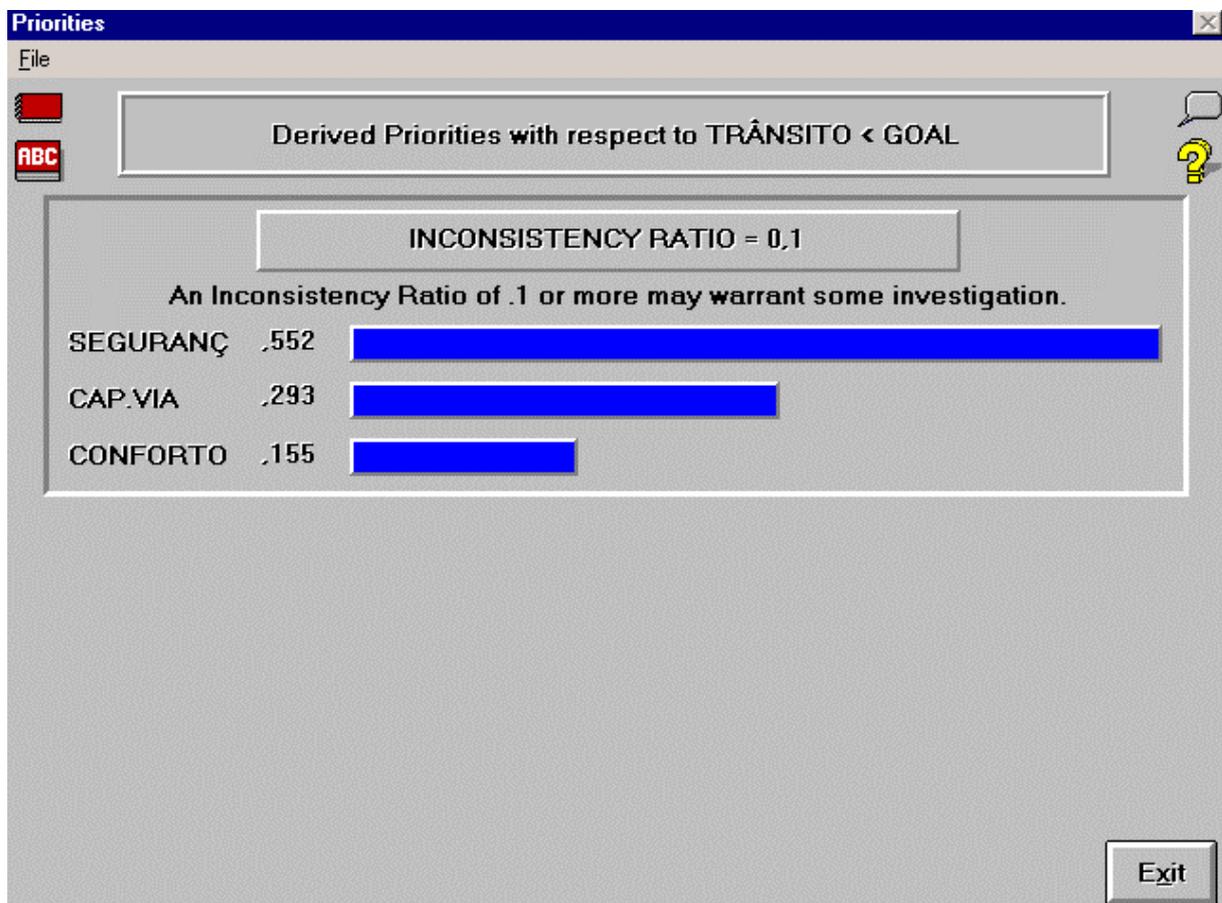
**Cr terios de 2  ordem priorizados, em rela  o ao crit rio ECONOMIA, ap s
vota  es do grupo.**



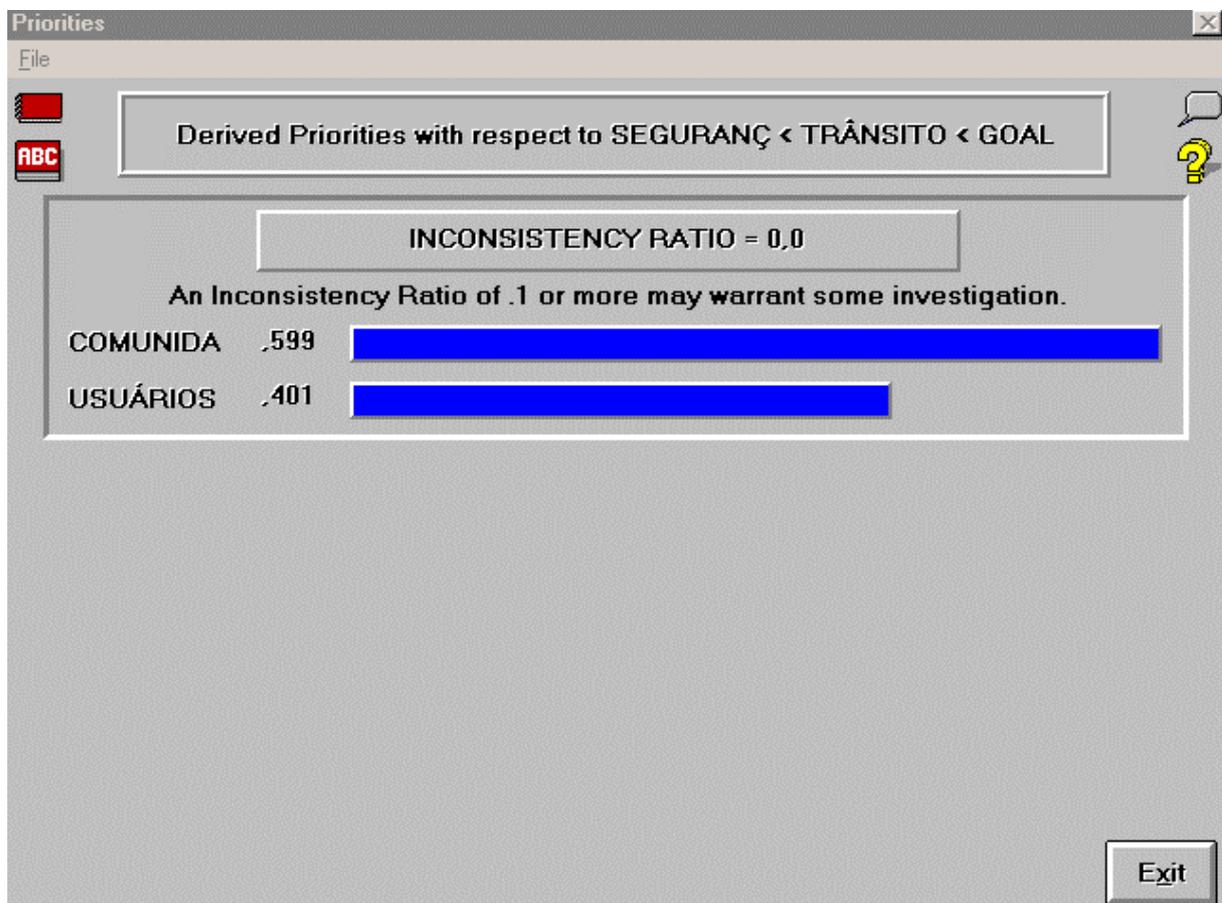
Crítérios de 3º ordem priorizados, em relação ao critério CUSTOS OPERACIONAIS, após votações do grupo.



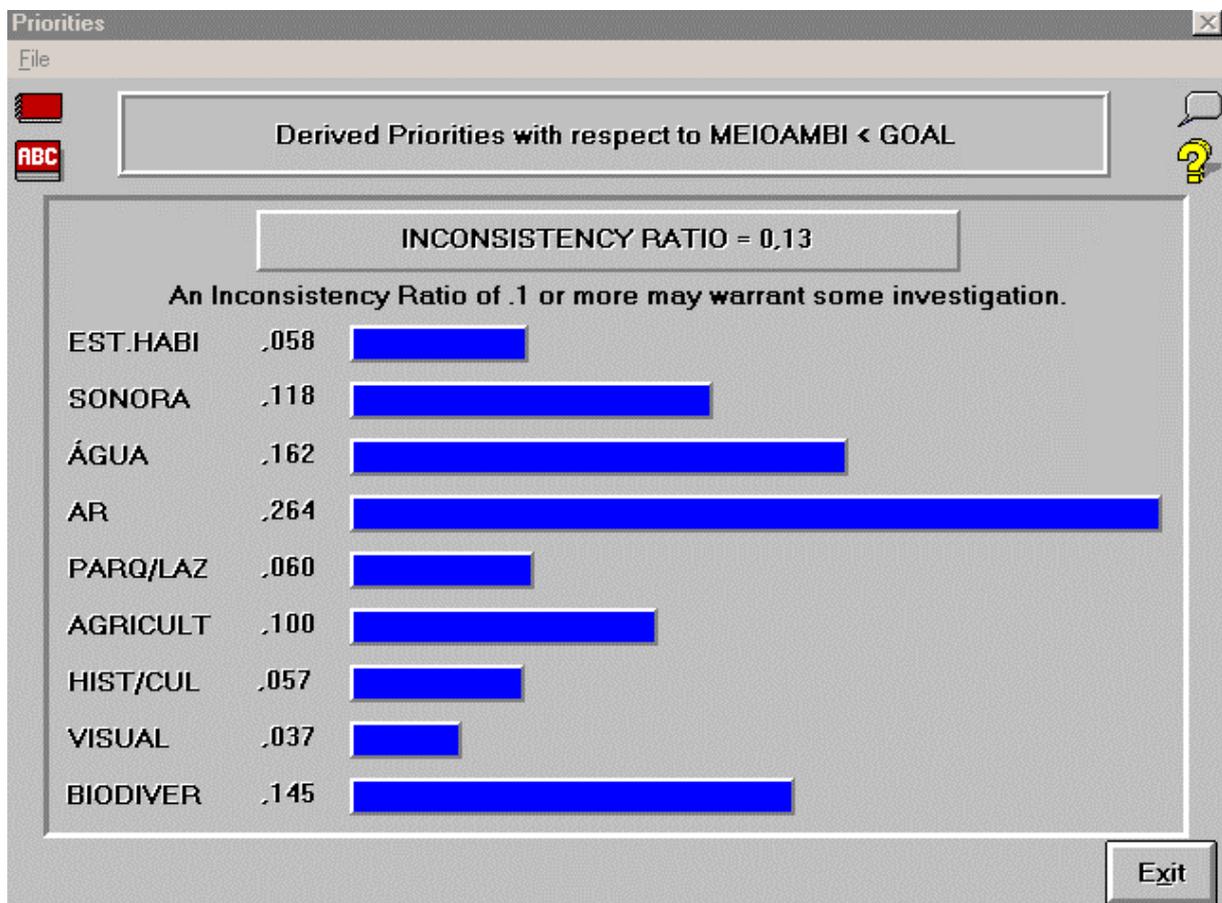
Crítérios de 2º ordem priorizados, em relação ao critério DESENVOLVIMENTO REGIONAL, após votações do grupo.



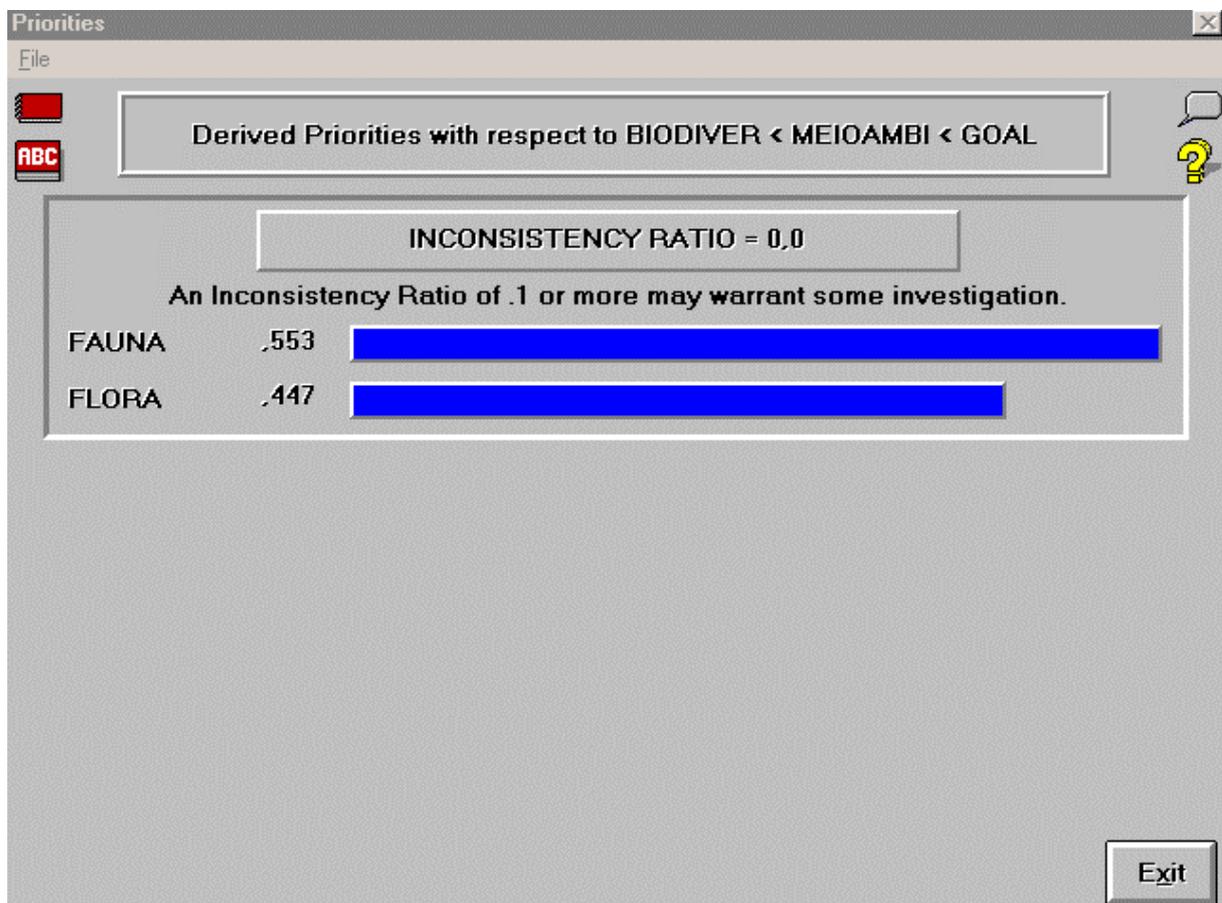
**Cr terios de 2  ordem priorizados, em rela o ao crit rio TR NSITO, ap s
vota es do grupo.**



Crítérios de 3º ordem priorizados, em relação ao critério SEGURANÇA, após votações do grupo.



Crítérios de 2º ordem priorizados, em relação ao critério MEIO AMBIENTE, após votações do grupo.



Cr terios de 3  ordem priorizados, em rela o ao crit rio BIODIVERSIDADE, ap s vota es do grupo.

ANEXO B

SOFTWARE EXPERT CHOICE: ESCALA DE INTENSIDADES DOS CRITÉRIOS

TeamEC_Platform: C:\ECPRO\SEG1V1

File Edit Assessment Synthesis Sensitivity-Graphs View Utilities Help

DESEN.RE:
DESENVOLVIMENTO
REGIONAL

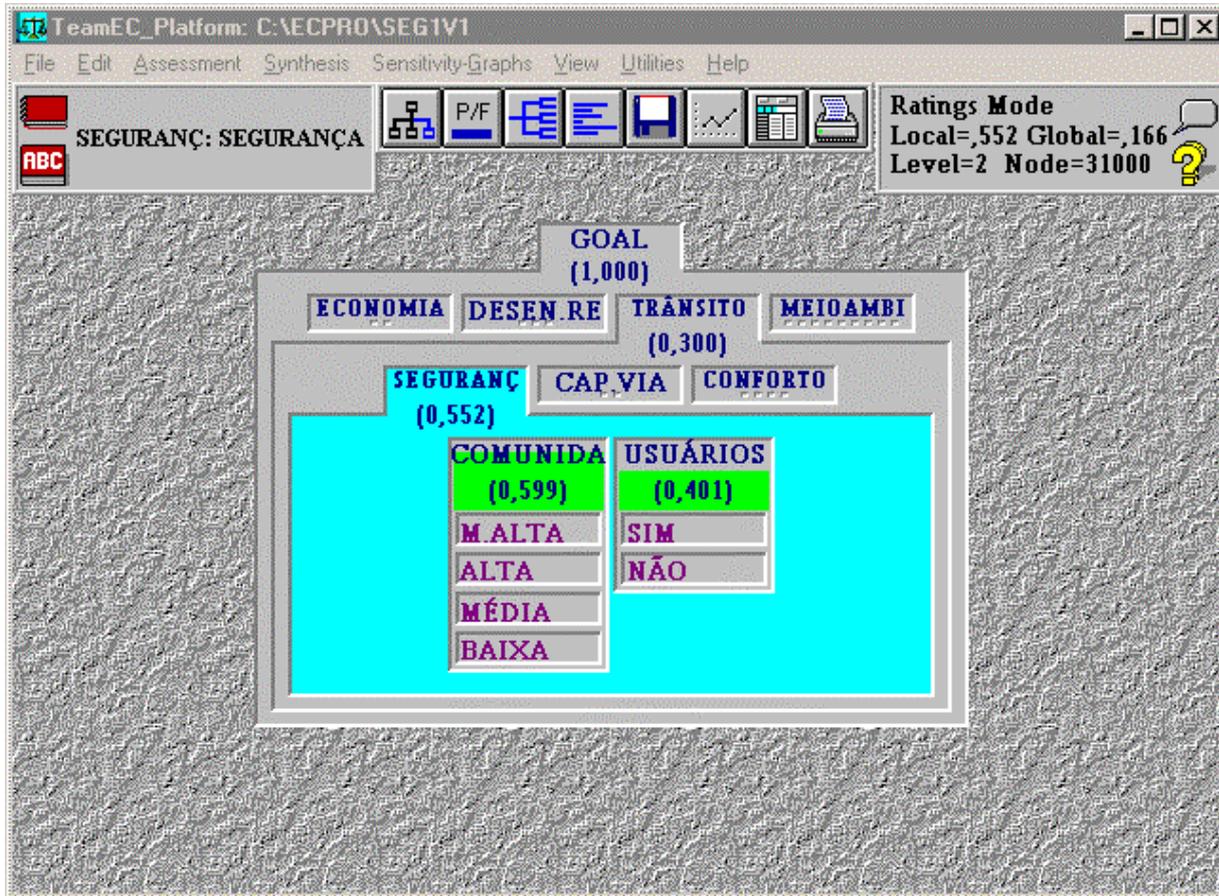
Ratings Mode
Local=,165 Global=,165
Level=1 Node=20000

PRIORIZAÇÃO DE TRAÇADO PARA PAVIMENTAÇÃO DE UMA ESTRADA

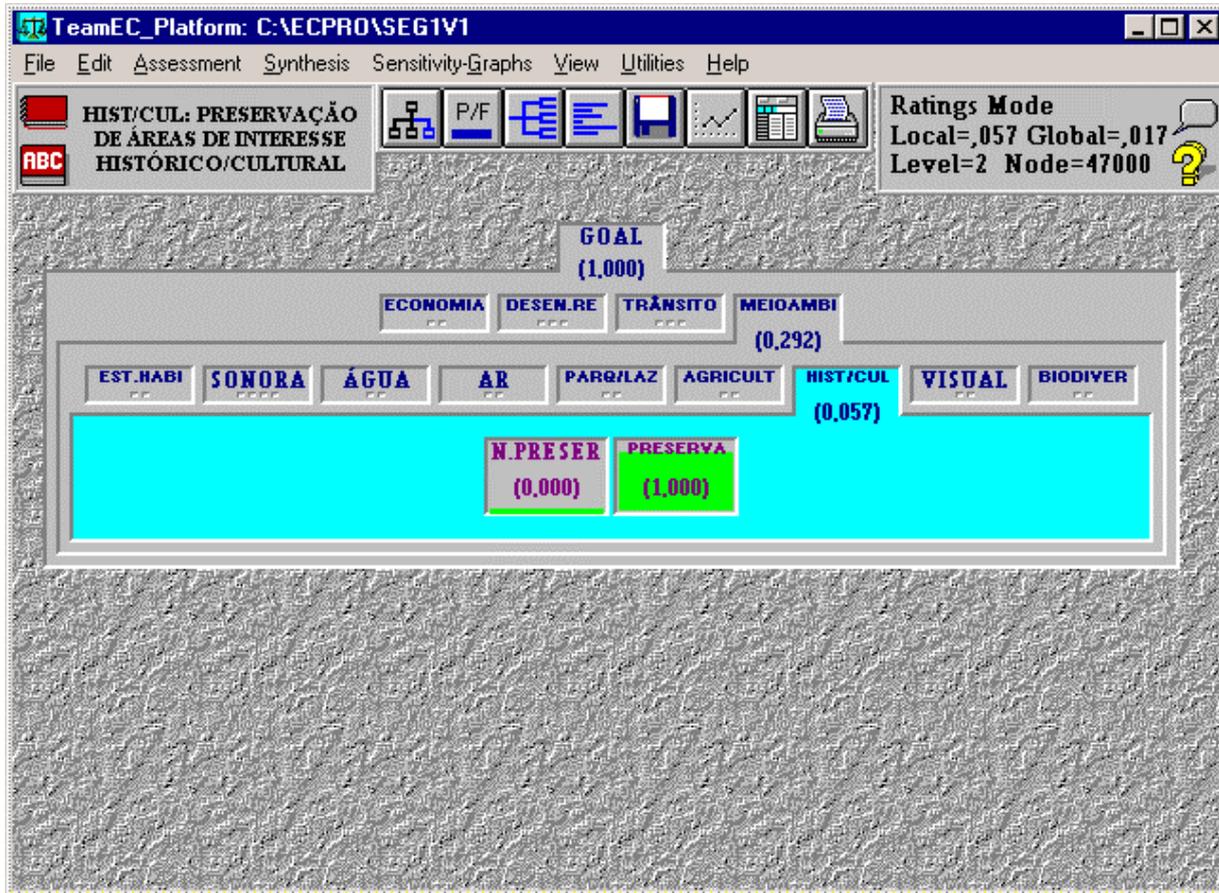
GOAL
(1,000)

ECONOMIA	DESEN.RE (0,165)	TRÂNSITO	MEIOAMBI
ACESSIBI (0,491)	S.PRIMÁR (0,260)	S.SECUND (0,249)	
ALTA	ALTA	ALTA	
MÉDIA	MÉDIA	MÉDIA	
BAIXA	BAIXA	BAIXA	
M.BAIXA			

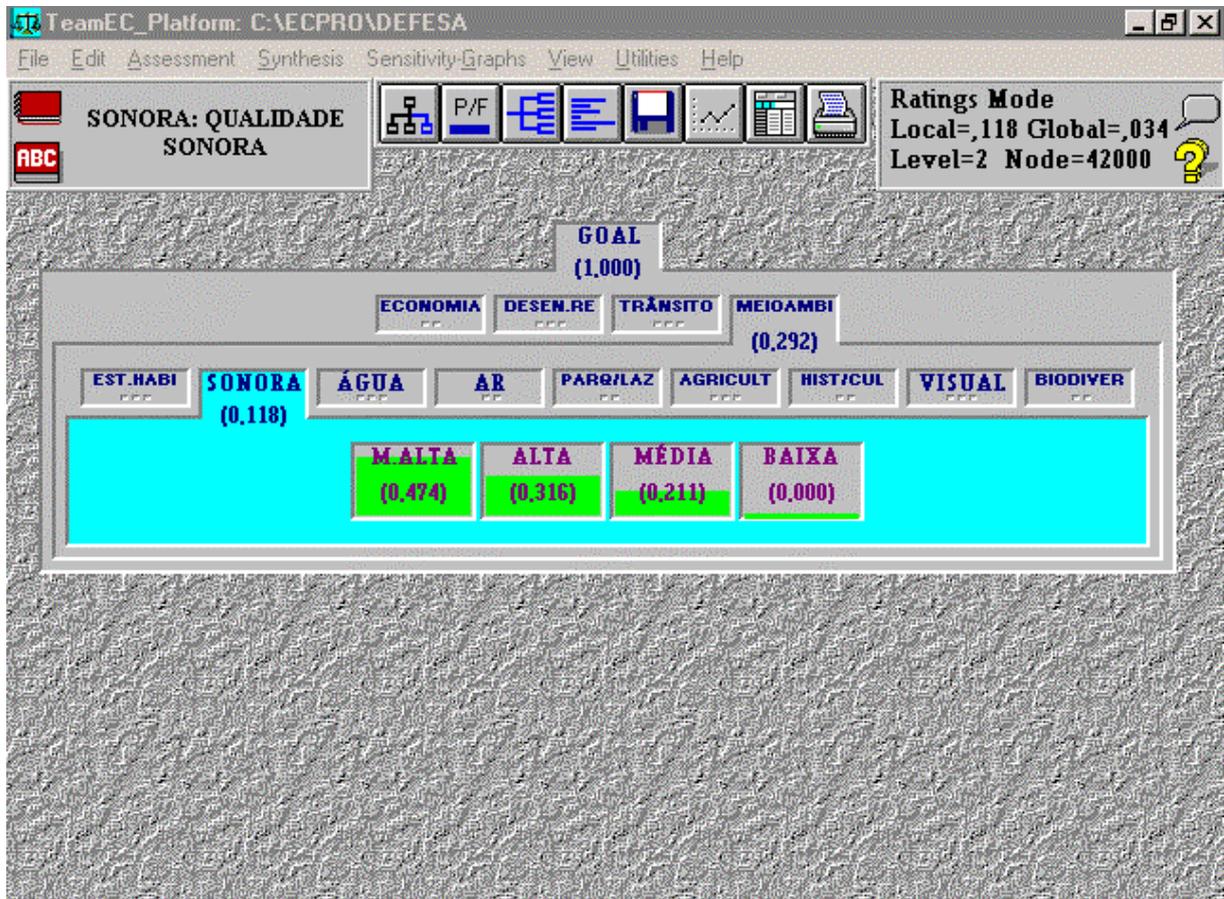
Escala de Intensidades para: Acessibilidade, Expansão do Setor Primário e Expansão do Setor Secundário.



Escala de Intensidades para: Segurança da comunidade local e Segurança para os usuários da rodovia.



Escala de Intensidades para Preservação de áreas de interesse Histórico/Cultural.



Escala de Intensidades para Qualidade Sonora.

ANEXO C

SOFTWARE EXPERT CHOICE: VALORES DOS IMPACTOS

Data

File

With respect to ACESSIBI < DESEN.RE < GOAL

ALTA

	Value
ALTA	9,00000
MÉDIA	6,00000
BAIXA	4,00000
M.BAIXA	0,00000
Total	19,00000

Invert Priorities

Convert to Pairwise

Paste

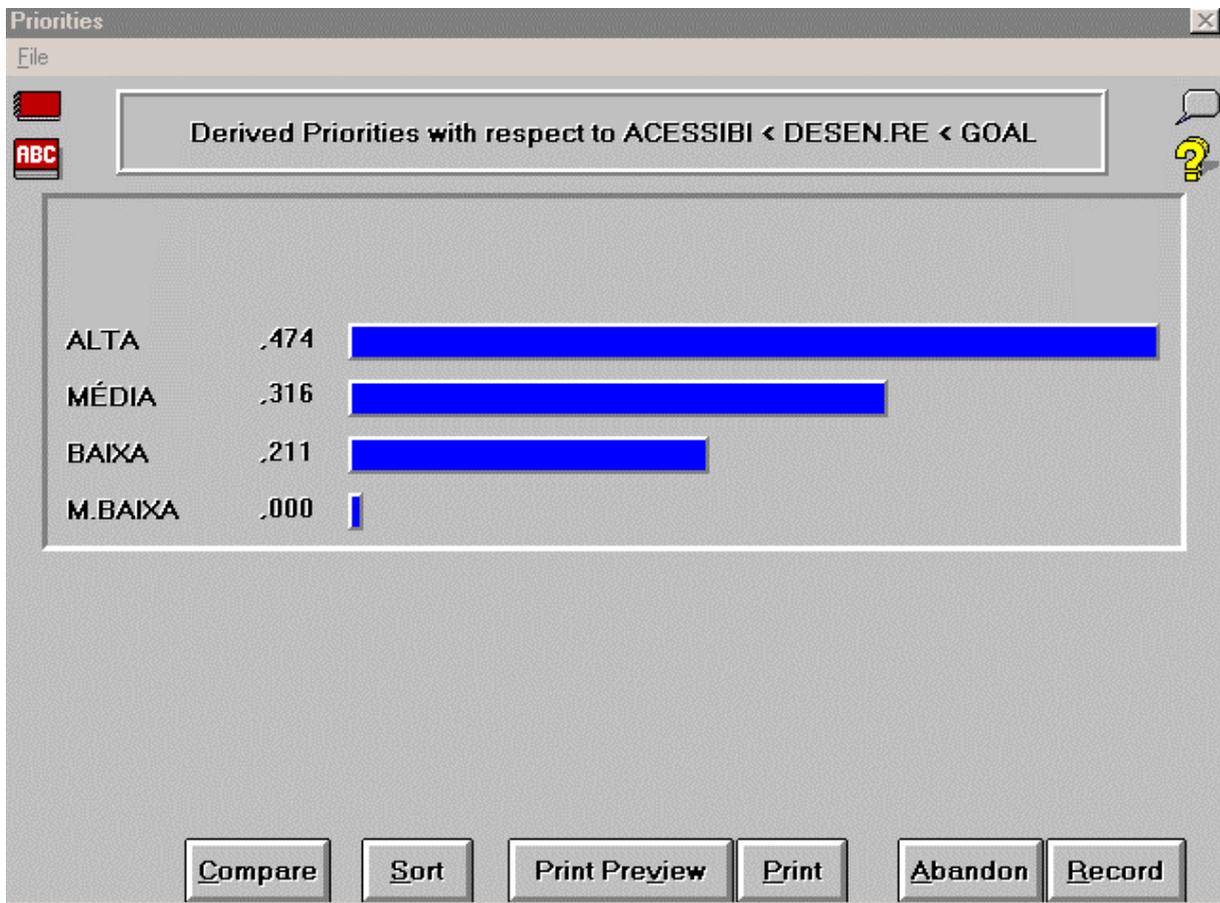
Structure

Product

Abandon

Calculate

Valores dos impactos mensurados.



Valores dos impactos normalizados.

Data

File

With respect to INVESTIM < ECONOMIA < GOAL

ABC

ALTERNATIVA 7

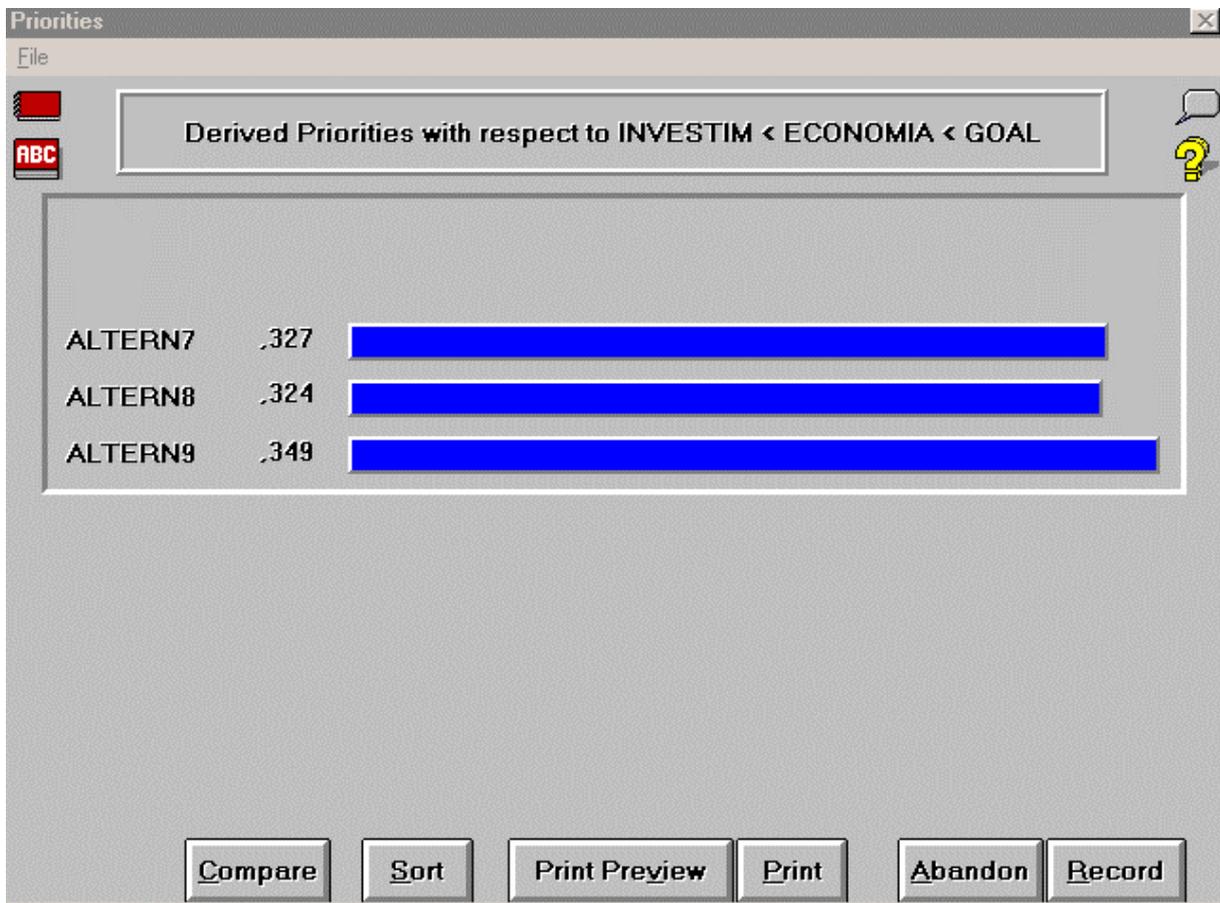
	Value
ALTERN7	748,00000
ALTERN8	755,00000
ALTERN9	702,00000
Total	2205,00000

Invert Priorities

Conyert to Pairwise

Paste Structure Product Abandon Calculate

Valores dos impactos mensurados.



Valores dos impactos normalizados.

ANEXO D

SOFTWARE EXPERT CHOICE: PONTUAÇÃO E PRIORIZAÇÃO FINAL DAS ALTERNATIVAS

HATINGS: A:\SEGT\1 - [Hate / Cost]

File Edit View Plot Data Window Help

Next

TRÁNSITO SEGURANC COMUNIDA

MAI TA 1 (1.000) AI TA 2 (.667) MFDIA 3 (.444) RAIXA 4 (.000)

	Alternativas	TOTAL	DESEN.RE- ACESSIBI	S.PRIMÁR	S.SECUND	TRÁNSITO- SEGURANC- COMUNIDA	USUÁR
1	1	0,528	BAIXA	ALTA	ALTA		SIM
2	2	0,341	ALTA	BAIXA			
3							

Pontuação das alternativas 1 e 2 em função dos critérios.

RAIINGS: C:\NECPHU\SEGTY1 - [Rate / Lost]

File Edit View Plot Data Window Help

Next

TRANSITO SEGURANÇ COMUNIDA

M AI TA 1 (1,000) AI TA 2 (.667) MÉDIA 3 (.444) BAIXA 4 (.000)

	Alternativas	TOTAL	DESEN.RE- ACESSIBI	S.PRIMAR	S.SECUND	TRÂNSITO- SEGURANÇ- COMUNIDA	USUÁI
1	8	0,829	MÉDIA			M.ALTA	SIM
2	9	0,586	ALTA				
3	7	0,581	ALTA	BAIXA	ALTA	BAIXA	
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							

Pontuação das alternativas: Alternativa 7, Alternativa 8 e Alternativa 9 em função dos critérios.

HATINGS: C:\NECPRO\SEGTY1 - [Rate / Lost]

File Edit View Plot Data Window Help

Next

	Alternativas	PRIORITY	SONORA	ÁGUA	AR	PARQ/LAZ	AGRIC
1	1	0,551	M.ALTA	VAR1	ALTA	PRESERVA	VAR1
2	2	0,449	M.ALTA	SEG1	BAIXA	PRESERVA	SEG1
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							

Priorização final das alternativas: 1 e 2.

HATINGS: A:\SE6TV1 - [Hate / Lost]

File Edit View Plot Data Window Help

Next

	Alternativas	PRIORITY	DESEN.RE- ACESSIBI	S.PRIMAR	S.SECUND	TRÂNSITO- SEGURANÇ- COMUNIDA	USUÁI
1	4	0,538	MÉDIA	BAIXA	ALTA	ALTA	SIM
2	3	0,462	ALTA	ALTA	ALTA	BAIXA	NÃO
3							

Priorização final das alternativas: 3 e 4.

HATINGS: A:\SEGTV1 - [Rate / Cost]

File Edit View Plot Data Window Help

Next

	Alternativas	PRIORIT Y	DESEN.RE- ACCESSIBI	S.PRIMAR	S.SECOND
1	5	0,545	MÉDIA	MÉDIA	ALTA
2	6	0,455	ALTA	MÉDIA	ALTA
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					

Priorização final das alternativas: 5 e 6.

RAIINGS: U:\ECPHU\DEFESA - [Rate / Cost]

File Edit View Plot Data Window Help

Next

TRANSITO SEGURANÇ USUÁRIOS

SIM 1 (1,000) NÃO 2 (.000)

	Alternativas	PRIORITY	S.PRIMAR	S.SECUND	TRÂNSITO- SEGURANÇ- COMUNIDA	USUÁRIOS	CAP.
1	8	0,415	BAIXA	ALTA	M.ALTA	SIM	ALTERI
2	9	0,308	MEDIA	ALTA	BAIXA	NÃO	ALTERI
3	7	0,277	BAIXA	ALTA	BAIXA	NÃO	ALTERI
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							

Priorização final das alternativas: 7, 8 e 9.