

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
CURSO DE MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL

**REVISÃO DE ALGUNS MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DE
PROJETOS DE TRANSPORTE**

ROSEANY FARRANT DO AMARAL

CAMPINA GRANDE – PB
JUNHO DE 1999

ROSEANY FARRANT DO AMARAL

REVISÃO DE ALGUNS MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DE PROJETOS DE TRANSPORTE

Dissertação apresentada ao Curso
de Mestrado em Engenharia Civil da
Universidade Federal da Paraíba,
em cumprimento às exigências para
obtenção do Grau de Mestre.

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: TRANSPORTES

SOHEIL RAHNEMAY RABBANI

Orientador

SIMIN JALALI RAHNEMAY RABBANI

Orientadora

CAMPINA GRANDE – PB

JUNHO DE 1999.



A485r Amaral, Roseany Farrant do
Revisao de alguns metodos de avaliacao de projetos de
transporte / Roseany Farrant do Amaral. - Campina Grande,
1999.
72 f.

Dissertacao (Mestrado em Engenharia Civil) -
Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciencias
e Tecnologia.

1. Transportes - 2. Dissertacao I. Rabbani, Soheil
Rahnemay, Dr. II. Rabbani, Simin Jalali Rahnemay, Dra. III.
Universidade Federal de Campina Grande - Campina Grande
(PB) IV. Título

CDU 656-047.44(043)

REVISÃO DE ALGUNS MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DE PROJETOS DE TRANSPORTE

ROSEANY FARRANT DO AMARAL

Aprovada em 11 de Junho de 1999.

SOHEIL RAHNEMAY RABBANI, Doutor
Orientador

SIMIN JALALI RAHNEMAY RABBANI, Doutora
Orientadora

ANTÔNIO JOSÉ SILVA, Doutor
Examinador Interno

BEDA BARKOKÉBAS JUNIOR, Doutor
Examinador Externo

CAMPINA GRANDE – PB

JUNHO DE 1999

DEDICATÓRIA

Aos meus pais Marcos e Rejane Amaral, pelo estímulo constante de coragem e perseverança, contribuindo sensivelmente para o êxito da minha formação. À eles dedico este mérito.

Ao meu noivo Pedro Otavio, pela demonstração de amor e paciência irrestrita em todos os momentos, sempre incentivando-me para a concretização deste trabalho.

Aos meus irmãos Marcos e Rosemary pelo apoio e companheirismo.

Ao meu cunhado Douglas, pela efetiva colaboração prestada no desenvolvimento desta dissertação.

A minha avó Irene, pelos ensinamentos de vida e humildade .

Obrigado Deus, por presentear-me com esta família.

AGRADECIMENTOS

A DEUS, força maior e presente em toda a minha existência.

Aos meus familiares pelo apoio e incentivo.

Ao meu orientador Professor Dr. Soheil Rahnemay Rabbani pelos ensinamentos, amizade e ajuda indispensável no cumprimento deste trabalho.

A orientadora Professora Dra. Simin Jalali Rahnemay Rabbani pelo acompanhamento e dedicação prestada.

Aos demais professores da Área de Transporte, pela amizade e transmissão de conhecimentos nas disciplinas cursadas.

Aos alunos de Pós-Graduação em Engenharia Civil pela colaboração prestada no decorrer do Curso de Mestrado e em especial a minha turma pela amizade e coleguismo cultivados nestes dois anos de convivência.

Aos amigos engenheiros Edilson Lima, Alba Sávia, Araci Leite e Luciana Lucena pela ajuda valiosa no decorrer do curso.

Aos funcionários da Área de Transportes, em especial Vandemberg e a secretária do curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil Josete Barros pela dedicação sempre constante.

A CAPES pelo apoio financeiro.

A todos aqueles que de forma direta ou indiretamente contribuíram para concretização deste trabalho.

RESUMO

Tradicionalmente, até a década de 60, os projetos de transportes eram avaliados apenas sob o ponto de vista econômico, através de métodos monocriteriais de avaliação. Os métodos tradicionais são de fácil entendimento e são classificados em dois grupos: o primeiro, baseia-se nas relações entre benefícios e custos e o segundo, nas relações entre custo e efetividade. No entanto, as consequências de um projeto não se restringem ao critério econômico. Desta forma, devido a crescente necessidade de inserir na avaliação, diversos fatores tangíveis e intangíveis relevantes ao processo decisório, surgiram no final da década de 70, os métodos multicriteriais mais eficientes e bastante utilizados em ambientes científicos na tomada de decisão.

Com o surgimento dos métodos multicriteriais, tornou-se possível a construção de modelos mais realistas. O método de avaliação multicriterial, em realce, o Processo de Análise Hierárquica - AHP, se enquadra perfeitamente nos moldes do moderno processo decisório, haja vista, que as inúmeras vantagens destes métodos, consistem na possibilidade de proceder-se o estudo, trabalhando-se ao mesmo tempo tanto com fatores quantitativos, como os de natureza qualitativa, além de possuir a capacidade de considerar simultaneamente uma diversificada gama de critérios.

Os métodos de avaliação multicriteriais superam as deficiências existentes nos métodos tradicionais, bem como, induzem a um maior entrosamento entre os avaliadores e os dirigentes responsáveis pelas decisões, já que existem etapas de trabalho que forçosamente, conta com a participação simultânea de ambos. Assim, o processo decisório torna-se bem estimulante e com maiores chances de se tornar mais eficiente.

O presente trabalho mostra uma revisão de alguns métodos de avaliação de projetos de transportes, destacando os métodos tradicionais de avaliação econômica benefício-custo, bem como, os métodos de análise multicriterial,

dentre eles, o método AHP -Analytic Hierarchy Process e alguns métodos estatísticos multivariados como Análise de Regressão Linear, Análise Fatorial e Análise Discriminante.

ABSTRACT

Traditionally, until the 1960 decade, transportation projects were evaluated only under the economic point of view, through monocriterial evaluation methods. Traditional methods are easily understandable and are classified in two groups: the first group is based on benefit and cost relations; the second, on cost and effectivity relations. However, due to the increasing need to include in the evaluation several tangible and intangible factors relevant to the decision process that were not taken into account by the traditional methods are more efficient and are largely used in decision making by the scientific community.

The use of multicriterial methods made possible the construction of more realistic models. The multicriterial evaluation method under consideration, The Analytic Hierarchy Process - AHP, fits well in the modern decision process requirements. Among the several advantages of multicriterial methods, there is the possibility of taking under consideration, at the same time, quantitative as well as qualitative factors, besides the capacity of simultaneously considering a wide set of criteria and of representing their multicriterial analysis in matrix form.

Multicriterial evaluation methods surpass the shortcomings of traditional methods and give rise to more cooperation between evaluators and decision makers since there are steps in the evaluation process in which both have to work together. Thus, the decision process becomes more stimulant and has more chance of becoming more efficient.

In this work, an analysis of traditional methods, multicriterial methods, and multivariate methods of economic evaluation is made. Though the latter are not directly involved in the evaluation, they are a tool that helps in the analysis of the variables.

LISTA DE TABELAS

A numeração das tabelas obedece a numeração dos capítulos

	Páginas
Tabela II.1 – Custos e Benefícios de Projetos de Transporte	15
Tabela IV.1 – Escala fundamental Sugerida por Saaty	42
Tabela IV.2 – Valores Médios de IR	44
Tabela IV.3 – Escala de Comparação por Pares	47
Tabela IV.4 – Escala de Julgamentos Sugerida por Lootsman	53

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

AHP	- Processo de Análise Hierárquica
BP	- Benefício Líquido Presente
CP	- Custo Líquido Presente
IC	- Índice de Consistência
IR	- Índice Randômico
R	- Coeficiente de Correlação
RBC	- Razão Benefício Custo
RBCI	- Razão Benefício Custo Incremental
RC	- Razão de Consistência
R ²	- Coeficiente de Determinação
$\lambda_{\text{máx}}$	- Autovalor Máximo da Matriz de Comparação Paritária
S	- Erro Padrão de Estimativa
S _b	- Erro Padrão de Estimativa para cada Coeficiente de Regressão
TIR	- Taxa Interna de Retorno
TIRI	- Taxa Interna de Retorno Incremental
TODIM	- Tomada de Decisão Interativa Multicriterial
VLP	- Valor Líquido Presente

ÍNDICE

	Páginas
DEDICATÓRIA	iv
AGRADECIMENTOS	v
RESUMO	vi
ABSTRACT	viii
LISTA DE TABELAS	ix
LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS	x
CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO	
CAPÍTULO II - DEFINIÇÕES E CONCEITOS	
II.1 – Introdução	6
II.2 – Definições e Conceitos	7
II.3 – Dificuldades e Características Inerentes a Avaliação de Projetos	12
II.4 – Custos e Benefícios de um Projeto	15
II.5 – Conclusão	17
CAPÍTULO III – MÉTODOS TRADICIONAIS DE AVALIAÇÃO	
III.1 – Introdução	19
III.2 – Análise Benefício – Custo	20
III.2.1 – Valor Líquido Presente	21
III.2.2 – Relação Benefício Custo	22
III.2.3 – Relação Benefício Custo Incremental	22
III.2.4 – Taxa Interna de Retorno	23
III.2.5 – Taxa Interna de Retorno Incremental	24
III.3 – Método de Avaliação Custo-Efetividade	25
III.4 – Conclusão	28

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

Qualquer nação , altamente desenvolvida ou sub-desenvolvida ao tentar construir um sistema de transporte ou ao formular uma política de transportes, vê-se a braços com uma primeira questão realmente difícil: quais os objetivos que o sistema de transportes se destina a servir ? Esta deveria, pelo menos, ser a primeira pergunta . Infelizmente, nem sempre é formulada. Mas, ao tentar tomar decisões que afetam fundamentalmente a vida da nação, não é suficiente perguntar quanto e onde? e sim também para que ? Com que finalidades maiores deve o sistema de transporte ser criado ? No momento em que se faz esta pergunta, toma-se consciência do fato doloroso de que uma sociedade vasta e complexa abrange, invariavelmente , uma multiplicidade de objetivos conflitantes.

Segundo Fromm (1968), os objetivos básicos do sistema de transportes devem ser o de assegurar a disponibilidade de serviços de transportes rápidos, seguros e econômicos, necessários a uma economia em crescimento e em mutação, a fim de movimentar pessoas e mercadorias sem estragos ou discriminação, em resposta a procura pública e privada, ao mais baixo custo consistente com a saúde , a conveniência, a segurança e outros amplos objetivos públicos.

Os recursos destinados ao provimento do serviço de transportes devem ser usados da maneira mais efetiva e eficiente possível e isto, por sua vez, significa que os usuários dos serviços de transportes devem receber incentivos para usar qualquer forma de transporte que lhes proporcione o serviço desejado, ao mais baixo custo e eficiência possível. Desta forma, a economia moderna exige a especialização das atividades e melhor utilização dos recursos produtivos, onde, cada região busca através da troca com outras regiões satisfazer as suas necessidades. Esta crescente necessidade de trocas, de comercialização e deslocamento, mostra a importância do sistema de transporte no meio em que está inserido.

Entretanto, o sistema de transporte desempenha um papel de suma importância na distribuição espacial e no consumo de riquezas. Mas, apesar de ser uma condição essencial, não é suficiente para que se atinja o progresso como um todo, outros elementos como agricultura, industrialização, padrões de educação, saúde, energia, constituem também, parte da estrutura que viabiliza o desenvolvimento das regiões . Sendo assim, os transportes representam o pré-requisito para a concretização desses fatores, pois neles proporcionam facilidades de mobilidade e de acessibilidade a qualquer região, agindo como um "ingrediente-chave" para o referido desenvolvimento.

Desta forma, começa-se a entender que o sistema de transportes é parte integrante de uma complexa estrutura composta por diversificados setores que guardam um certo grau de relação entre si, e não podem em hipótese alguma, estarem desassociados, pois desta forma, corre-se o risco de adotar-se medidas que, aparentemente, são benéficas para um determinado setor, porém, apresentam-se extremamente nocivas para outros, e como toda a estrutura funciona interrelacionada, os resultados globais poderão ser altamente negativos.

Nos últimos anos, o processo de planejamento de transporte sofreu grandes mudanças relacionadas com a demanda de transporte, o avanço tecnológico e a tomada de decisão. Até bem pouco tempo, historicamente, a engenharia se preocupava fundamentalmente com a capacidade dos sistemas físicos e suas formas geométricas. Pouca importância assumia a engenharia, quanto a decisão de executar ou não um projeto, ou qual método de avaliação seria o melhor para ser adotado. Assim, qualquer programa de ações e/ou medidas a serem implantadas no sistema de transporte, deve-se considerar os seus efeitos sobre os demais setores da estrutura social, política, econômica e ambiental.

A existência de um planejamento permitirá a avaliação e implantação de projetos que direcionem os esforços e os limitados recursos disponíveis. Desta forma, observa-se que avaliar projetos é uma tarefa imprescindível para implantação de medidas que direcionem o desenvolvimento.

Segundo Papacostas (1993), em um processo de planejamento existem no mínimo duas alternativas a serem analisadas: a de implantar um determinado projeto, ou o de não fazer nada, deixar o sistema operando sem modificações. De qualquer forma, faz-se necessário o emprego da avaliação de projetos.

Até recentemente, as tomadas de decisões em avaliações de projetos de transportes sempre estiveram baseadas no conceito de eficiência traduzido sobretudo para a linguagem econômica e financeira. Porém a consciência coletiva tem infundido um maior significado aos fatores sociais, culturais, econômicos e ambientais. Com isso, indivíduos e entidades passaram a ver com mais cuidado os efeitos globais das mudanças propostas nos sistemas de transporte.

De uma forma ou de outra, em um mundo complexo e em constantes transformações, homens e instituições estão aceitando ou rejeitando ações. Estas ações podem representar novas alternativas e a manutenção ou extinção das existentes. A estas tarefas de aceitar ou rejeitar algo, Bauer (1968) citado em Kawamoto (1997) classifica como "tomadas de decisões".

No entanto, como se pode ver, a tomada de decisão é um fato integrante da vida diária. Constitui, às vezes, uma atividade extremamente complexa, envolvendo elementos conflitantes e que implica escolher entre várias opções possíveis. Decidir é confrontar preferências. Quando há apenas um decisor, os conflitos giram em torno de preferências de quem decide. Quando a decisão envolve vários decisores, pode haver divergências em suas preferências, neste caso é necessário avaliar os diferentes interesses e determinar uma situação de consenso.

Não existe um conceito formal para a tomada de decisão. Ela é constituída por processos que envolvem informações, consideradas sob vários pontos de vista, de onde resultam uma ou mais a serem implementadas. Dependendo do nível de complexidade envolvido, mais informações e melhores definições são necessárias [Furtado, 1998].

Para Furtado (1998), o objetivo da tomada de decisão em transportes é o de auxiliar o desenvolvimento de planos e alternativas, que tenham como propósito alocar os recursos disponíveis para resolução de problemas de transportes.

De acordo com Papacostas (1993), a avaliação facilita a tomada de decisão através das análises dos méritos e deméritos das alternativas, em termos de um único ou de múltiplos critérios de decisão. Para que estas decisões estejam baseadas na realidade observada, utilizam-se as técnicas de avaliação.

Segundo Linchfield et al.(1975) citado por Furtado e Kawamoto (1997) a função da avaliação em um processo de planejamento é fazer um comparativo das vantagens e desvantagens dos planos ou projetos. Salienta-se, todavia, que a avaliação não constitui uma tomada de decisão, representa apenas uma ferramenta de auxílio ao processo decisório. Tem por finalidade facilitar o processo de escolha.

Por outro lado, avaliar em transportes, não deve ser considerada simplesmente uma comparação do que é "ruim", "bom" ou "melhor". É importante salientar que, neste setor, as decisões tem caráter relativamente definitivo. Quando implementadas de forma errada, podem apresentar efeitos adversos aos esperados. É, portanto, uma atividade de compromisso com o bem-estar da população afetada.

Segundo Kawamoto (1997) O objetivo da avaliação é o de organizar as informações disponíveis. Assim, é possível comparar as alternativas e tornar a tomada de decisão mais simples.

Para Adler (1971), a escolha de projetos de melhoramento dos sistemas de transporte, através da avaliação de projetos, teve início entre meados do século XIX e início do século XX, quando economistas europeus e americanos começaram a analisar as tarifas, regulamentações e investimentos nos setores de transportes.

A partir da década de 50, desenvolveu-se métodos baseados na quantificação monetária de custos e benefícios. Nesta época, procurava-se enfatizar a tomada

de decisão apenas utilizando o critério econômico. Nos anos 60 do presente século, começaram a surgir os primeiros resquícios de análise multicriterial que geravam e selecionavam as alternativas julgadas sob vários aspectos. A partir desta época, promoveu-se uma integração econômica, social, ambiental e energética. Mas, só a partir do final dos anos 70 é que houve o desenvolvimento dos métodos multicriteriais, descartando o enfoque puramente econômico [Adler, 1971].

Este trabalho tem por objetivo, fazer uma revisão de alguns métodos de avaliação de projetos de transporte. Para esta finalidade, a dissertação foi estruturada da seguinte forma:

No capítulo II, apresenta-se alguns conceitos e definições comuns no processo de avaliação de projetos de transporte. No capítulo III, os métodos tradicionais de avaliação econômica benefício-custo e custo-efetividade serão enfatizados, bem como, suas vantagens e desvantagens. No capítulo IV, apresenta-se, brevemente, os métodos multivariados utilizados nos modelos de avaliação como ferramenta para análise das variáveis, bem como, enfatiza alguns métodos de avaliação multicriterial. Estes últimos, no entanto, são mais recentes e eficientes, que possuem visão mais realista na avaliação. Tratam-se de análise multicriterial, que envolvem múltiplos critérios, objetivo e atores.

CAPÍTULO II

DEFINIÇÕES E CONCEITOS

II.1 - Introdução

Para Mayer e Miller (1984), citado em Rabbani (1996), a avaliação é um processo de analisar as vantagens e desvantagens dos diversos cursos de ação e apresentar estas informações aos tomadores de decisão de uma maneira útil e compreensível. A avaliação, facilita a tomada de decisão através dos méritos e deméritos das alternativas, em termos de um único ou múltiplos critérios de decisão.

Adler (1971), descreve a avaliação de projetos de transportes como um conjunto que envolve aspectos tecnológicos, administrativos, econômico-financeiros. Os aspectos tecnológicos referem-se basicamente aos processos construtivos do projeto e de sua operação. Os aspectos administrativos referem-se aos vários problemas de gerenciamento e pessoal surgidos na construção, manutenção e operação da obra. A avaliação econômica-financeira, por sua vez, refere-se à análise da possibilidade de o projeto vir a ser economicamente e financeiramente viável, ou seja de cumprir seus compromissos financeiros e proporcionar uma remuneração do capital investido.

Até recentemente, as avaliações de projetos de transporte baseavam-se apenas sob o ponto de vista econômico. Porém, a consciência coletiva tem infundido um maior significado aos demais elementos sociais, culturais e ambientais que exercem força preponderante sobre o sistema.

Entretanto, diante de qualquer ponto de vista adotado (público ou privado), a avaliação de projetos de transporte, envolve muito mais que uma visão técnica e econômica-financeira . Esta atividade envolve não apenas fatores quantificáveis e mensuráveis, mas, envolve também, todo um conjunto de fatores qualitativos e comportamentais.

O propósito deste capítulo é mostrar alguns aspectos relacionados a avaliação. Inicialmente, apresenta-se alguns conceitos fundamentais que envolvem a tomada de decisão, em seguida, será abordado algumas dificuldades e características inerentes ao processo de avaliação, bem como, alguns elementos mais frequentes de benefícios e custos encontrados em alguns projetos de transportes.

II.2 – Definições e Conceitos

O processo de avaliação pressupõe o conhecimento de algumas definições e conceitos. Tais conhecimentos são necessários à estruturação do problema a ser definido. Para melhor compreensão, serão apresentados a seguir, alguns destes principais elementos.

Valores – Indicam as características desejadas pela sociedade ou grupo de indivíduos para atingir um objetivo determinado. Ou seja, constituem um conjunto irreduzível de desejos básicos que governam o comportamento. Estes desejos podem ser de caráter instintivo ou cultural e em determinado momento, constituem a base para a percepção [Furtado, 1998].

Meta – De acordo com os valores, certas necessidades são reconhecidas e almejadas por indivíduos e grupos. Alguns propósitos idealizados, permitem identificar e focalizar direções nas quais a sociedade deve encaminhar-se para conseguí-los. Estes propósitos constituem as metas. As metas podem ser atingidas ou não [Rabbani, 1998].

Objetivo – O objetivo pode ser definido como resultado a ser alcançado dentro de um prazo estipulado em um planejamento e indica a direção a ser seguida pelos planejadores . [Rabbani, 1998].

Crítérios – Os critérios podem ser definidos como uma medida do alcance dos objetivos ou medida de efetividade. Estas medidas indicadoras podem ser qualitativas ou quantitativas, fator este, que proporciona uma maior precisão dos objetivos. Cada objetivo a ser estudado pode comportar múltiplos critérios, que por sua vez, podem incluir inúmeros subcritérios, e assim sucessivamente [Rabbani e Rabbani, 1996].

Alternativas – As alternativas correspondem um conjunto de ações para atingir um objetivo pré-determinado [Lucena, 1999].

Horizonte de Planejamento – Corresponde o tempo de vida útil comum das alternativas que estão sendo avaliadas. Como o processo de avaliação de projetos visa a comparação de diferentes alternativas, o horizonte de planejamento poderá ser comum a todas elas [kawamoto, 1994].

Diagrama de Fluxo de Caixa – Conjunto de todos os benefícios e custos que ocorrerão ao longo do respectivo período de análise, ou seja, corresponde um cronograma financeiro da alternativa de investimento em questão [Furtado e Kawamoto, 1994].

Custos – Os custos de um projeto indicam as despesas que se faz para produzir bens e serviços. A determinação de custos é uma tarefa relativamente mais fácil que a determinação dos benefícios de um projeto, pois as medidas de custos não quantificáveis são considerados como benefícios negativos. Além do mais, os benefícios provindos de um projeto ocorrem num período de tempo relativamente mais longo, enquanto que os custos ocorrem imediatamente durante a implementação do projeto, bem como após a implementação. Entretanto, não há uma classificação de custos, que seja utilizada em todos os processos de avaliação. O custo total de um projeto poderá compreender : os custos de pesquisas, construção, operação, materiais, equipamentos, administração, bem como, os custos de depreciação, manutenção e custos com acidentes. Para melhor compreensão sobre custos de transportes, serão apresentados a seguir alguns conceitos de custos:

Custo Fixo e Custo Variável - O custo total de um projeto compreenderá os custos fixos e custos variáveis. Os custos Fixos independem do nível de produção ou da distância transportada. Nele incluem-se salários, despesas com motorista, seguros, depreciação do veículo, etc.. Com relação aos custos variáveis, como o próprio nome diz, varia de acordo com nível de produção ou da

distância transportada, nele incluem-se gastos com pneus e câmaras, combustível, lubrificante, manutenção, entre outros.

Custo Direto e Custo Indireto - Segundo Adler (1968), não existe um consenso universal do que deve ser considerado custo direto e custo indireto. Alguns órgãos controladores de sistemas de transportes estabelecem, em geral, planos de contas uniformizados para a modalidade específica, onde definem quais os custos a serem considerados em cada subgrupo. Os custos diretos são aqueles diretamente ligados ao custo de implantação e operação do sistema, como por exemplo: custo de investimento em infra-estrutura, veículos, equipamentos e mão-de-obra diretamente envolvida na construção e operação. Os custos indiretos não são diretamente ligados ao custo de implantação e operação do sistema, como por exemplo, custos de propaganda e representação.

Custos Indivisíveis - Frequentemente os custos indivisíveis são confundidos com custos fixos, pois geralmente afetam esta parcela de custo. Seu conceito será explicado através do seguinte exemplo: Seja uma construção de uma estrada de ferro que ligue as cidades A e B. Os custos fixos seriam a via permanente simples, máquinas e vagões. A medida que o volume de carga aumenta, seus custos fixos aumentariam com a adição de vagões, máquinas e sistemas de controle até a saturação da via permanente simples. A implantação da 2ª via de estrada de ferro é um custo indivisível necessário para qualquer aumento da capacidade acima da capacidade instalada. [Adler, 1968].

Custo de Oportunidade - O custo de oportunidade pode ser conceituado como o valor de um recurso (matéria-prima, mão-de-obra, máquina) aplicado a melhor alternativa disponível, além do projeto considerado. Exemplo : Custo de oportunidade de utilização de mão-de-obra em um projeto governamental que permaneceria desempregada caso não houvesse a realização do projeto [Adler, 1968].

Benefícios – Pode-se definir um benefício, como um efeito desejável de um investimento sobre o qual resulta geralmente, em impacto positivo para a comunidade, uma empresa ou para os indivíduos. No processo de

avaliação, a estimativa dos benefícios não é uma tarefa fácil, pois as variações no bem-estar dos diversos setores da sociedade, ligados a um determinado projeto do setor público, nem sempre são quantificáveis facilmente.

Considerando o caso de um investimento no sistema de transporte público de passageiros. Os diversos grupos interessados são os usuários, as empresas operadoras, o governo, e a sociedade como um todo. Cada um destes grupos absorvem benefícios específicos, por exemplo, para o usuário os benefícios monetários decorrentes da viagem medidos pela tarifa; para as empresas operadoras, as receitas provinda de tarifas e subsídios governamentais; para o governo, as receitas provenientes dos impostos cobrados e para sociedade a valorização do terreno. Entretanto, pode-se perceber que a aferição dos benefícios econômicos de um projeto é geralmente muito mais difícil que o cálculo de seus custos econômicos. Vários fatores contribuem para que a estimativa dos benefícios econômicos seja difícil de serem estimados. As principais razões segundo Adler (1968) são:

- Alguns benefícios embora claramente diretos, tais como : maior conforto e conveniência proporcionado pelo melhoramento de uma rodovia, são difíceis de expressar em termos monetários, pois em geral , não há para eles preços de mercado;
- Um melhor e maior acesso a educação, saúde, trabalho e lazer proporcionado por uma facilidade de transportes é um benefício de natureza social de difícil mensuração;
- A maioria dos benefícios, como redução dos custos de transportes, favorece um grande número de indivíduos durante um período muito dilatado, o que requer difíceis previsões a longo prazo.

Vale salientar que muitas vezes, os benefícios provenientes de um determinado projeto se constituem da redução de custos e impactos negativos causados pelos mesmos.

No caso de um planejamento de transportes, os conceitos de benefícios mais utilizados no processo de avaliação de acordo com Adler (1968) são:

- Redução de Acidentes : A redução no número de acidentes, além de ser essencial a sociedade, provoca uma redução nos custos. Estes custos variam de acordo com as áreas urbanas e do tipo de acidente. É um benefício de difícil mensuração, uma vez que se deseja quantificar o valor de uma vida humana ;
- Redução de Custos com Operação de Veículos : Neste tipo de benefício estão incluídos a redução dos gastos com combustível, óleo, manutenção e reparo, além da depreciação do veículo. Os custos envolvidos dependem exclusivamente das características que as rodovias apresentam, do tráfego, do motorista e do próprio veículo ;
- Economia de Tempo de Viagem, para o Transporte de Passageiros e Cargas : Este tipo de benefício, tem como base o tempo que foi economizado com a realização da viagem, podendo ser utilizado para outras atividades. A este tempo, designa-se um valor monetário o qual representa uma média para todos os usuários ;
- Efeito Multiplicador da Economia : Este efeito caracteriza-se pela economia de dinheiro provenientes da redução dos diversos custos, representando lucros para as empresas, poupança para os usuários e um ganho para a região como um todo.

Nem todos estes benefícios aparecem em todos os projetos e a sua respectiva importância difere de projeto para projeto, contudo, pode-se classificar os benefícios econômicos dos investimentos de transporte sob vários critérios. Conforme os beneficiários, os benefícios podem ser diretos (primários) ou indiretos (secundários).

Benefícios Diretos - São vantagens quantificáveis decorrentes da implantação do projeto que refletem especialmente no custo dos transportes, tais como a redução do custo operacional, do número de acidentes e do tempo de viagem.

Benefícios Indiretos - São vantagens estimáveis decorrentes da implantação do projeto que refletem sobre a coletividade em termos de desenvolvimento econômico da região, tais como o aumento da produtividade e do padrão de vida da comunidade; a redistribuição e expansão das populações urbanas; o melhoramento dos serviços públicos; o aumento do valor das propriedades localizadas na zona de influência do projeto, etc..

Os processos mais usados para a avaliação econômica de um projeto são aqueles baseados na quantificação dos benefícios diretos. Todavia, em países ou regiões em desenvolvimento, torna-se necessária a análise econômica dos projetos com base nos benefícios diretos e indiretos, procurando-se quantificá-los ou estimá-los com as aproximações possíveis [Adler, 1968].

II.3 – Dificuldades e Características Inerentes a Avaliação de Projetos

A questão básica no processo de avaliação se reside na medição das vantagens e desvantagens ou méritos e deméritos de alternativos cursos de ação para servir como auxílio na tomada de decisão. Segundo Dickey (1983) citado em Rabbani (1998) são muitas as dificuldades inerentes à avaliação e a tomada de decisão, como: definição do objetivo; previsão das conseqüências; determinação da importância relativa dessas conseqüências; e assegurar que as conseqüências realizar-se-ão como desejado.

Essas dificuldades tornam a responsabilidade da tomada de decisão uma tarefa difícil para as autoridades públicas. Por exemplo, na determinação da importância relativa dos impactos, quem poderia garantir, que uma vida salva em um acidente de tráfego valeria R\$ 100.000,00; ou que um real investido numa estação subterrânea seria tão benéfico quanto um real gasto na construção de um hospital ?

Segundo Dickey (1983), citado em Rabbani (1998), são muitas as características inerentes à avaliação e a tomada de decisão, como:

- Coligar tantas informações quantas necessárias na análise, de acordo com a percepção do planejador;

- Determinar como as alternativas se relacionam as metas e objetivos desejados de forma a representar informações qualitativas e quantitativas de ordem sócio-econômica e ambiental ;
- Relacionar as conseqüências de cada um dos alternativos cursos de ação;
- Determinar como as alternativas afetam os interesses em vista. Deste modo, devem ser analisados os benefícios e custos necessários a implementação do mesmo ;
- Apresentar informações de forma clara e precisa, de maneira a facilitar o fluxo de informações aos tomadores de decisão.

Para Adler (1968), as principais questões que a avaliação de projetos visa responder são:

- Os objetivos atingidos pela alternativa refletem as metas previamente especificadas?
- Qual a distribuição de custos e benefícios entre os membros da comunidade?
- A alternativa é capaz de produzir os resultados desejados?
- A alternativa provê benefícios suficientes de modo a justificar os custos?
- capital está disponível para executar a alternativa em questão?
- Há alguma barreira legal ou administrativa à implantação da alternativa?

Aparentemente parece ser simples a tarefa de se eleger uma alternativa como a melhor dentre um conjunto de soluções mutuamente estudadas. Processos, técnicas e critérios existem para torná-la mais fácil, porém, a realidade mostra uma visão bastante diferente. A partir da formação do conceito de avaliação, questiona-se o que é importante num projeto, porque é importante e para quem o é. Começa então, a introdução de variáveis complexas que dificultam o processo de julgamento. Este aspecto está presente até no momento em que as pessoas decidem fazer uma compra. Elas geralmente verificam a importância e o momento exato da compra antes de tomar a decisão final.

No caso de projetos de transportes, a avaliação pode-se tornar tarefa difícil, devido ao profundo relacionamento existente entre os sistemas de transporte e as demais atividades exercidas pelo homem. Em geral, decisões relativas ao setor de transportes alteram de algum modo a estrutura econômica, social e ecológica das regiões nas quais se pretende modificar o sistema.

Os elementos de custos e benefícios são essenciais para a verificação da viabilidade dos projetos. Entretanto, apesar da avaliação partir da premissa de que os benefícios devem exceder os custos, justificando assim uma melhoria econômica de toda a sociedade, tal justificativa às vezes é falha, se levarmos em consideração que esta melhoria poderá atingir a um determinado grupo de pessoas em detrimento de uma grande parcela da população de baixa renda, provocando algum tipo de injustiça social. Portanto, deverá ser realizada para análise as seguintes questões [Adler, 1971]:

- Quem será alvo da análise? usuários, empresas operadoras, governo ou sociedade ?
- Que custos e benefícios devem ser incluídos na análise?
- Que valor deve-se atribuir a estes custos e benefícios?

Com a obtenção destas respostas, permite-se efetuar o levantamento dos benefícios e custos a serem incluídos na análise. Entretanto, para avaliar projetos é necessário verificar a importância das alternativas, verificando se a alternativa a ser implantada atende ao objetivo almejado, para tanto, é necessário realizar o seguinte questionamento:

- A alternativa é capaz de produzir os resultados desejados?
- A alternativa provê benefícios suficientes de modo a justificar os custos?
- O capital está disponível para executar a alternativa em questão?
- Há alguma barreira legal ou administrativa à implantação da alternativa?

Aparentemente parece ser simples a tarefa de se eleger uma alternativa como a melhor dentre um conjunto de alternativas mutuamente consideradas. Processos,

técnicas e critérios existem para torná-la mais fácil, porém, a realidade mostra uma visão bastante diferente.

A partir da formação do conceito de avaliação, questiona-se o que é importante num projeto, porque é importante e para quem o é. Começa-se então, a introdução de variáveis complexas que dificultam o processo de julgamento. Este aspecto está presente até no momento em que as pessoas decidem fazer uma compra. Elas geralmente verificam a importância e o momento exato da compra antes de tomar a decisão final.

No caso de projetos de transportes, a avaliação pode-se tornar uma tarefa difícil, devido ao profundo relacionamento existente entre os sistemas de transporte e as demais atividades exercidas pelo homem. Em geral, decisões relativas ao setor de transportes alteram de algum modo a estrutura econômica, social e ecológica das regiões nas quais se pretende modificar o sistema.

II.4 - Custos e Benefícios de um Projeto

Ainda que elementos de custos e benefícios são comuns para várias modalidades de transportes, cada uma delas possui características específicas. Estes elementos serão apresentados nas tabelas a seguir.

PROJETOS RODOVIÁRIOS	
Benefícios	Custos
<ul style="list-style-type: none">- redução dos custos de operação;- redução do tempo de viagem;- melhoria de conforto da viagem;- tráfego gerado;- redução do custo da conservação;- tráfego desviado;- aumento de produção;- aumento de segurança do tráfego	<ul style="list-style-type: none">- projeto , execução e supervisão;- conservação e restauração;- operação dos veículos;- capital;- combustível e lubrificante;- desgaste de pneus;- depreciação;- juros;- manutenção;- salários e encargos sociais;- equipamentos;- custos administrativos.

PROJETOS FERROVIÁRIOS	
Benefícios	Custos
<ul style="list-style-type: none"> - redução dos custos de manobras; - diminuição da retenção de vagão no pátio; - redução do tempo de espera fora do pátio; - redução de avarias de vagões e cargas. 	<ul style="list-style-type: none"> -capital de eletrificação; - instalações fixas; - locomotivas; - equipamentos; - depreciação; - juros; - equipagem: salários e encargos; - alimentação; - consumo de óleo lubrificante; - manutenção; - investimento e financiamento.

PROJETOS DUTOVIÁRIOS	
Benefícios	Custos
<ul style="list-style-type: none"> - redução de tempo; - redução de custo; 	<ul style="list-style-type: none"> - construção da linha (duto); - transporte e assentamento; - tubulação nas bombas; - combustível; - reparos; - manutenção; - administração; - estação de bombeamento; - sistema de comunicação; - projetos e fiscalização; - eventuais; - consumo de energia.

PROJETOS AEROVIÁRIOS	
Benefícios	Custos
<ul style="list-style-type: none"> - economia de tempo; - conforto; - rapidez. 	<ul style="list-style-type: none"> - de capital (equipamentos); - de tempo de voo; - manutenção e operação; - treinamento de pessoal; - equipamentos de terra; - instalações.

II.5 - Conclusão

Em tempos de globalização e internacionalização da economia, o sistema de transporte, a cada dia que passa, desempenha um papel de suma importância no desenvolvimento econômico da nação, uma vez que o preço dos transportes insidirá no preço final da mercadoria. Todo e qualquer país que deseja assegurar e ampliar seus mercados consumidores, deverá oferecer produtos com alta qualidade e preços competitivos no mercado internacional, o que torna o setor de transporte extremamente estratégico para o desenvolvimento econômico. Por conseguinte, a estimativa de custo e benefício em um sistema de transporte é de suma importância, uma vez que cabe a este sistema, a função de aproximar mercados, escoar produtos, entre outros, no menor custo e tempo possível.

Contudo, na concepção de qualquer projeto de transporte que vise ampliar o mercado internacional ou reduzir os preços das mercadorias, entre outros objetivos, deverá levar em consideração os elementos de custo e benefício para que se possa ter idéia de sua viabilidade de implantação.

Segundo Buarque (1984), um sistema de transporte pode ser concebido como um processo de produção que consome recursos (investimentos) e gera produtos (meios de locomoção). Os custos de implantação são geralmente expressos em uma base monetária. Porém, os benefícios produzidos nem sempre podem ser quantificados nesta mesma base.

Conseqüentemente, calcular os benefícios econômicos do projeto de transporte tornou-se muito mais difícil de que avaliar seus custos econômicos. Primeiro, porque alguns benefícios embora diretos, tais como, conforto, e a conveniência maior, derivados de uma rodovia melhorada são dificilmente expressos em termos monetários, dado que, na maioria das vezes, não há preços de mercado para tais benefícios. Segundo, porque os benefícios monetários tais como, os custos reduzidos de transportes, beneficiam um maior número de pessoas por um período maior de tempo, requerendo prognósticos difíceis de longo alcance. Terceiro, porque muitos benefícios são indiretos, como por exemplo, o estímulo à

economia de transporte melhorado e, para que esses benefícios possam materializar-se, são necessários, muitas vezes, investimentos em outros campos.

No Brasil, os projetos de transportes, geralmente, são financiados pelo poder público (federal, estadual ou municipal) através do arrecadamento de impostos pagos pela população. Se o projeto, após executado, produz benefícios suficientes aos usuários cobrindo os investimentos pagos pelo contribuinte, diz-se que o projeto é viável e socialmente justo. Porém, quando os investimentos não tem uma relação direta com os beneficiários, alguém acaba contribuindo na produção de um benefício que não lhe é revertido.

A atual situação sócio-econômica do país, exige cada vez mais, avaliações de projetos que determinem a viabilidade econômica dos investimentos no setor de transporte. Assim, diante dessa perspectiva, a implantação de projetos nessa área enfrenta barreiras advindas da problemática de escassez de recursos e requerem à racionalidade, ou seja, investimentos mínimos para obtenção de utilidades máximas.

Todo sistema de transporte é pensado, idealizado, trabalhado e planejado para gerar benefícios a sociedade, embora em alguns casos, chegue até a trazer prejuízos em forma por exemplo, de poluição sonora e ambiental.

CAPÍTULO III

MÉTODOS TRADICIONAIS DE AVALIAÇÃO

III.1 - Introdução

A essência da avaliação no processo de planejamento é a de procurar a alternativa que proporcione à sociedade o máximo de benefício para cada unidade de recurso nela investido. Essa busca da melhor alternativa não é feita apenas no âmbito das alternativas disponíveis ou cogitadas.

É comum avaliar alternativas também em relação a uma alternativa genérica que está fora desse âmbito. Um exemplo é a taxa de mínima atratividade (TMA) usada na avaliação econômica. Na realidade, essa taxa sintetiza as melhores alternativas existentes fora até do setor em questão. Pois, quando se compara uma Taxa Interna de Retorno (TIR) com a Taxa de Mínima Atratividade (TMA), indiretamente está se comparando a alternativa em questão com outras alternativas externas.

As técnicas de avaliação de projetos de transporte pertencem a três grupos principais: Análise de Engenharia Econômica, Análise Custo-Efetividade e Puro Julgamento [Rabbani, 1998].

A Análise de Engenharia Econômica está baseada no princípio de que os impactos quantificáveis das alternativas devem ser comparados em termos monetários. Assim, os alternativos projetos serão avaliados em termos de seus custos e benefícios. Nas decisões do setor público, o procedimento mais utilizado tem sido a análise benefício-custo. Desta forma, a partir da relação benefício/custo os projetos serão avaliados e comparados.

Em se tratando da Análise Custo - Efetividade, esta procura descrever a importância de cada alternativa ao alcançar as metas e objetivos e tem como base o estabelecimento de critérios que reflitam as consequências da implantação das alternativas. Tais critérios são denominados de medida de efetividade.

No procedimento de Puro Julgamento, a avaliação é feita por economistas, planejadores ou engenheiros levando em consideração as vantagens e desvantagens política, econômica e ambiental do projeto. O julgamento é baseado na hipótese de que, quanto mais informações forem disponíveis, melhores decisões serão tomadas. Dentro dessa estrutura, toma-se mais relevante a responsabilidade de atribuírem valores relativos aos méritos e deméritos das alternativas consideradas.

Os dois primeiros métodos conhecidos como métodos tradicionais de avaliação, serão explicados neste capítulo. Entretanto, o terceiro método será explicado detalhadamente no capítulo posterior.

III.2 - Análise Benefício - Custo

A análise econômica caracterizada pelas relações entre benefício e custo, surgiu no início do século XX nos EUA com objetivo de promover melhoramento na navegação. Porém, essa técnica se aperfeiçoou apenas em meados dos anos 30 por ocasião do Ato de Controle de Inundações, onde se garantiam verbas apenas para projetos que comprovassem que os benefícios excederiam os custos. Esta técnica foi-se refinando ao longo dos anos [Bruton, 1979].

Apesar da avaliação benefício-custo partir da premissa de que os benefícios devem exceder os custos, justificando assim uma melhoria econômica de toda a sociedade, tal justificativa, às vezes, é falha se levarmos em consideração que esta melhoria poderá atingir um determinado grupo de pessoas em detrimento a uma grande parcela da população de baixa renda, provocando desta maneira, algum tipo de injustiça social.

Desta forma, é necessário que a redistribuição econômica seja realizada para provocar uma melhoria na situação da população, de modo que seus membros não fiquem em situação pior que a anterior. Isto é, não é apenas necessário mostrar que uma análise benefício-custo seja positiva financeiramente, mas que deva também provar que as variáveis distributivas não provoquem grandes injustiças sociais.

A análise benefício-custo é uma análise econômica que visa a determinação do grau de viabilidade de um conjunto de alternativas mutuamente exclusivas. Por alternativa mutuamente exclusiva, subentende-se que apenas uma das alternativas deverá ser adotada [Kawamoto, 1994].

Entretanto, após a listagem das diversas alternativas-solução do projeto e definição do horizonte de planejamento, deve-se proceder a listagem e homogeneização dos benefícios e custos relativos a cada alternativa. Conseqüentemente, tais valores devem possuir a mesma medida, geralmente em termos monetários.

Os principais métodos para a avaliação benefício-custo são: Valor Líquido Presente, Relação Benefício Custo, Relação Benefício Custo Incremental, Taxa Interna de Retorno e Taxa Interna de Retorno Incremental. Para Melhor entendimento dos métodos, serão apresentados em anexo algumas aplicações.

III.2.1 - Valor Líquido Presente

A comparação entre benefícios e custos é executada através da diferença entre o Benefício Líquido Presente e o Custo Líquido Presente [Kawamoto, 1994].

$$[VLP_{x,n}]_i = [BP_{x,n}]_i - [CP_{x,n}]_i$$
$$[BP_{x,n}]_i = \sum_{t=0}^n \frac{B_{x,n}}{(1+i)^t} \quad \text{e} \quad [CP_{x,n}]_i = \sum_{t=0}^n \frac{C_{x,n}}{(1+i)^t}$$

Onde:

$[VLP_{x,n}]_i$ - Valor Líquido Presente para o projeto x no ano n;

$[BP_{x,n}]_i$ - Benefício Líquido Presente para o projeto x no ano n;

$[CP_{x,n}]_i$ - Custo Líquido Presente para o projeto x no ano n;

$B_{x,n}$ - Benefícios esperados para o projeto x no ano n;

$C_{x,n}$ - Custos esperados para o projeto x no ano n;

i - Taxa de Mínima Atratividade ;

n - Horizonte de Planejamento .

ordenação, seguem-se dois passos importantes: o primeiro passo, é concebido a fim de determinar se todas as alternativas são viáveis economicamente, através da relação benefício custo para cada alternativa.

Supondo que x , seja a primeira alternativa economicamente viável. O segundo passo, consiste em determinar se a alternativa x é melhor ou não do que a alternativa com custos iniciais maiores do que o dela. Isto é, deve-se justificar qualquer incremento adicional de custo. Para essa finalidade, calcula-se a relação benefício-custo incremental que será a comparação entre as alternativas $x+1$ e x [Kawamoto e Furtado, 1997].

$$[RBCI_{x+1/x, n}]_i = \frac{[BP_{x+1, n}]_i - [BP_{x, n}]_i}{[CP_{x+1, n}]_i - [CP_{x, n}]_i}$$

Onde :

$RBCI_{x+1/x, n}$ - Relação Benefício Custo Incremental para o projeto $x + 1$ no ano n ;

$BP_{x+1, n}$ - Benefício Líquido Presente para o projeto $x + 1$ no ano n ;

$CP_{x+1, n}$ - Custo Líquido Presente para o projeto $x + 1$ no ano n ;

i - Taxa de Mínima Atratividade;

n - Horizonte de Planejamento.

Vale salientar que quando o numerador e o denominador são positivos e apresentar uma Relação Benefício-Custo Incremental maior ou igual a unidade, a melhor alternativa passa ser a alternativa $x+1$. Porém, quando o numerador é negativo e o denominador é positivo a alternativa x será considerada melhor que a alternativa $x+1$ [Kawamoto e Furtado, 1997].

III.2.4 - Taxa Interna de Retorno

A taxa interna de retorno é uma taxa de capitalização que possibilita a igualdade entre benefícios atuais e custos atuais. Assim, esta taxa torna o valor dos lucros futuros equivalentes aos gastos realizados com o projeto. Para qualquer alternativa x , a taxa interna de retorno i , é a taxa que satisfaz a seguinte condição:

$$\sum_{t=0}^n \frac{B_{x,n}}{(1+i)^t} = \sum_{t=0}^n \frac{C_{x,n}}{(1+i)^t}$$

Onde :

$B_{x,n}$ - Benefícios esperados para o projeto x no ano n;

$C_{x,n}$ - Custos esperados para o projeto x no ano t;

i - Taxa interna de retorno.

A viabilidade do projeto é determinada através da comparação entre a taxa interna de retorno e a taxa de mínima atratividade adotada (taxa correspondente ao melhor investimento na ocasião). Para que um projeto seja economicamente viável, segundo esta técnica, é preciso que a taxa interna de retorno seja maior que a taxa de mínima atratividade. Entre as alternativas economicamente aceitáveis, considera-se a melhor alternativa aquela que apresentar a maior taxa interna de retorno.

Este método visa demonstrar a rentabilidade de um projeto visto que, um investimento só é considerado rentável quando os valores atuais do benefícios começarem a se igualar ao valores atuais dos custos. No entanto, este método pode apresentar valores ambíguos dificultando a escolha da melhor solução.

III.2.5 - Taxa Interna de Retorno Incremental

Segundo Kawamoto e Furtado (1997), a taxa interna de retorno incremental é um método bastante utilizado na avaliação de projetos, sobretudo, nos setores privados da economia. Inicialmente, ordena-se as alternativas, segundo os custos iniciais crescentes. Após essa ordenação, segue-se dois passos importantes. O primeiro passo, consiste em determinar a taxa interna de retorno para a alternativa que apresenta menor custo inicial. Uma vez determinada a taxa interna de retorno, compara-se esta taxa com a taxa de mínima atratividade. Caso a alternativa apresente uma taxa interna de retorno maior ou igual a taxa de mínima atratividade, a alternativa é considerada viável e usada como uma alternativa de referência, caso contrário, rejeita-se a alternativa e calcula-se a taxa interna de retorno da alternativa que apresentar o segundo menor custo, e assim sucessivamente, até encontrar uma alternativa economicamente viável.

Supondo que x seja a primeira alternativa economicamente viável, o segundo passo, consiste em determinar se a alternativa x é melhor ou não do que a alternativa com custos iniciais maiores do que o dela. Calcula-se então, a taxa interna de retorno incremental, através da seguinte expressão:

$$\sum_{t=0}^n \frac{B_{x+1} - B_{x,n}}{(1 + i_{x+1/x})^t} = \sum_{t=0}^n \frac{C_{x+1} - C_{x,n}}{(1 + i_{x+1/x})^t}$$

Onde :

$B_{x+1,n}$ - Benefícios esperados para o projeto x +1 no ano n;

$B_{x,n}$ - Benefícios esperados para o projeto x no ano n;

$C_{x+1,n}$ - Custos esperados para o projeto x +1 no ano n;

$C_{x,n}$ - Custos esperados para o projeto x no ano n;

i - Taxa interna de retorno.

Se a taxa interna de retorno incremental $i_{x+1/x}$ for menor do que a taxa de mínima atratividade, rejeita-se a alternativa x+1, e passa-se a calcular a taxa $i_{x+2/x}$. Compara-se esse valor com a taxa de mínima atratividade e assim por diante, até obter a melhor alternativa.

III.3 - Método de Avaliação Custo-Efetividade

A metodologia aplicada no processo de avaliação denominada custo-efetividade, surgiu com o objetivo de avaliar não apenas as variáveis criterialmente econômicas, mas sobretudo, as variáveis não monetariamente quantificáveis dos projetos.

O papel dos tomadores de decisão torna-se mais relevante na responsabilidade adicional de atribuírem valores relativos aos méritos e deméritos das alternativas consideradas.

O método possibilita uma visão clara entre ganhos e perdas das diversas alternativas, formando um quadro compreensível e de fácil avaliação, constando de valores, metas e objetivos do projeto.

A base deste método é a identificação dos critérios que levam a avaliação dessas alternativas. Estes critérios são denominados medidas de efetividade, os quais são representados por uma quantidade relacionada a um objeto específico.

Entre as medidas relevantes na avaliação Custo-Efetividade podem-se citar: confiabilidade, segurança, capacidade, produtividade, conforto, tempo de viagem, custo de viagem, custo operacional, poluição do ar, consumo de energia, entre outras. Os processos de avaliação consideram apenas algumas dessas medidas, devido aos altos custos na coleta e análise dos dados.

Os valores dos critérios que cada alternativa deve possuir, funcionam como elo de ligação entre a análise técnica e os objetivos dos planejadores[Furtado,1998].

Segundo Mayer e Miller (1984), afirmam que na utilização das medidas de custo-efetividade no processo de avaliação, estas devem ser :

- Relevantes aos objetivos, ou seja, cada medida deve se relacionar a um determinado objetivo;
- Mensuráveis, desta forma, os custos podem ser proporcionais aos valores fornecidos;
- Sensíveis, ou seja, os valores devem ter flexibilidade para serem usados em diferentes níveis de análise;
- Imparciais, permitindo que os valores possam ser aplicados a diversas alternativas sem o favorecimento de nenhuma alternativa em especial, e finalmente,
- De fácil entendimento, de modo a se poder fazer uma avaliação precisa do projeto.

A efetividade de uma alternativa é geralmente representada por uma medida quantitativa relacionada a um objetivo específico. Por exemplo, o número de veículos que irão ser substituído por uma Van, no caso de transporte solidário.

A metodologia deste tipo de análise, se baseia em um sistema de controle através da qual é possível a determinação de medidas de efetividade, ponderação dos objetivos, alternativas e da solução que for mais viável. Este sistema de controle é representado por uma matriz com os seguintes componentes:

A_i - Conjunto de alternativas;

O_j - Conjunto de objetivos;

U_j - Conjunto de ponderações que correspondem a cada objetivo específico;

C_{ij} - Peso atribuído a alternativa i em relação a cada objetivo j ;

E_i - Efetividade total obtido pela seguinte equação:

$$E_i = \sum_{j=1}^n (C_{ij}) \cdot (U_j)$$

Onde :

$i = 1, 2, \dots, m$

Ponderação	U_1	U_2	...	U_j	...	U_n	Efetividade total
Alt. \ Obj.	O_1	O_2	...	O_j	...	O_n	
A_1	C_{11}	C_{12}	...	C_{1j}	...	C_{1n}	E_1
A_2	C_{21}	C_{22}	...	C_{2j}	...	C_{2n}	E_2
A_3	C_{31}	C_{32}	...	C_{3j}	...	C_{3n}	E_3
...
A_i	C_{i1}	C_{i2}	...	C_{ij}	...	C_{in}	E_i
...
A_m	C_{m1}	C_{m2}	...	C_{mj}	...	C_{mn}	E_m

Matricialmente a efetividade total é representada da seguinte forma :

$$\begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{1j} & C_{1n} \\ C_{21} & C_{22} & C_{2j} & C_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ C_{i1} & C_{i2} & C_{ij} & C_{in} \\ C_{m1} & C_{m2} & C_{mj} & C_{mn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \\ \vdots \\ U_i \\ U_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} E_1 \\ E_2 \\ \vdots \\ E_i \\ E_m \end{bmatrix}$$

Segundo Furtado (1998), existem dois tipos de análise para a escolha da melhor solução: Análise sob Restrição e Análise sem Restrição.

Análise sob Restrição :

- Se há restrições orçamentárias são desprezadas as alternativas que possuem custos acima do valor correspondente a restrição;
- Se há restrição de efetividade são desprezadas as alternativas que tiverem efetividade menor que o mínimo.

Análise sem Restrição :

- Se duas alternativas possuem o mesmo custo a melhor é a que apresentar maior efetividade;
- Se as alternativas possuem a mesma efetividade , será considerada a melhor a que possuir menor custo;
- Se as alternativas são diferentes em termos de custo e efetividade, não há base lógica para comparação das mesmas.

Entretanto, a principal dificuldade associada a análise custo-efetividade é a dependência dos julgamentos subjetivos do tomador de decisão. Esta dependência é normalmente moderada pela confiança na equipe dos tomadores de decisão que consiste de um grupo de indivíduos. No entanto, para atingir um consenso nas decisões são necessárias discussões em grupo, debates e levantamento de idéias.

III.4 - Conclusão

A avaliação de projetos consta de uma atividade demorada, complicada e por muitas vezes dispendiosa. Vários são os métodos de análise das alternativas componentes do processo do planejamento dos transportes, entre os quais, variam de acordo com os objetivos desejados. O método tradicional mais utilizado para a avaliação de um projeto de transportes é o método de avaliação econômica benefício-custo, embora este tipo de análise, deixe de considerar os benefícios indiretos e variáveis que não possuem um valor monetário . A

aplicação deste método deve portanto ser realizada de forma cuidadosa de modo a não inviabilizar alguma alternativa que possa ser benéfica a população.

Como foi possível perceber, os projetos de transportes exigem um certo grau de conhecimento dos elementos de custo e benefício, com a finalidade de se conhecer sua viabilidade. Este tipo de estudo fornece subsídios para que haja uma análise comparativa destes elementos nas diversas modalidades de transportes.

Entretanto, a vantagem básica da avaliação econômica é proporcionar informações sobre a importância relativa das alternativas. A avaliação econômica fornece apenas um quadro parcial do problema em questão, pois não leva em consideração algumas importantes conseqüências não monetárias da implementação do projeto. Entre as principais limitações deste tipo de avaliação, mencionam-se os problemas associados a identificação, análise e avaliação dos impactos não monetários, bem como a escolha de uma taxa de juros apropriada e o tratamento da inflação e deflação de preços.

A questão da identificação dos impactos refere-se ao fato de que nem todos os impactos considerados importantes podem ser incluídos na análise. Apesar de nenhuma das técnicas já existentes ser capaz de incluir todos os impactos dos projetos, a análise de eficiência econômica considera apenas um conjunto limitado desses impactos. O problema da distribuição dos impactos refere-se ao fato de que os benefícios e custos não são distribuídos igualmente entre os diversos grupos e indivíduos. Isto quer dizer que, o que pode ser considerado um impacto positivo para um grupo de indivíduos poderá influir negativamente em um outro.

Sem dúvida, os aspectos econômicos são fundamentais para avaliação de projetos, pois geralmente a demanda por projetos é muito maior do que os recursos disponíveis, e portanto tomadores de decisão tem obrigação moral de escolher projetos que proporcionem o máximo de benefícios em relação aos recursos nele investidos. Mesmo porque, ao otimizar o uso de recursos, maior

número de projetos podem ser implantados e, conseqüentemente, no caso de projetos públicos, maior número de pessoas poderão ser beneficiadas. No entanto, as conseqüências de um projeto não se restringem aos aspectos econômicos, tomadores de decisão devem se preocupar também com outros aspectos do projeto. Um desses aspectos é a questão da distribuição de renda. É importante que se saiba quem é que paga os custos de um projeto e quem é que se beneficia dele. É possível que os benefícios ou custos sejam distribuídos desproporcionalmente a um indivíduo ou grupo. Além disso, existem um grande número de aspectos tais como, poluição sonora, atmosférica, acidentes, valorização ou desvalorização do terreno, etc., que devem ser ponderados ao escolher um projeto.

Conclui-se, então, que não existe um caminho concreto que determine qual das diversas alternativas encontradas em um processo de planejamento de transporte será a melhor solução para o sistema. O processo de avaliação apresenta sim, um conjunto de ferramentas que permite a um conjunto de profissionais competentes trabalharem de modo a chegarem a um resultado final coerente com as metas e objetivos desenvolvidos no início do processo, visando um melhoramento nas condições de vida da população.

CAPÍTULO IV

MÉTODOS ESTATÍSTICOS MULTIVARIADOS E MULTICRITERIAIS DE AVALIAÇÃO

IV.1 - Introdução

As decisões no setor de transportes vinham sendo tomadas tradicionalmente com base em um único critério, geralmente o econômico, através de utilização de métodos monocriteriais. Entretanto, nas últimas três décadas, vem crescendo o interesse e a necessidade de identificar e considerar simultaneamente vários critérios na análise e solução de alguns tipos de problemas, em particular, aqueles derivados de sistemas de grande porte, por gerarem grandes impactos ambientais e sociais e pelo os quais, os métodos tradicionais são limitados.

Consequentemente, devido a crescente necessidade de avaliar os projetos sob vários pontos de vista e critérios, começaram a surgir novos métodos de avaliação, entre eles os métodos multivariados e multicriteriais.

Os métodos estatísticos multivariados compreendem um conjunto de procedimentos estatísticos que servem como instrumento de auxílio na avaliação. Estes métodos, consistem em analisar propriedades distintas, observadas simultaneamente, acerca de cada elemento da amostra ou de uma população. Com relação aos métodos multicriteriais, estes avaliam as alternativas de forma organizada, de modo que todos os fatores que exercem influência no sistema em estudo sejam considerados.

Este capítulo trata do desenvolvimento matemático dos métodos estatísticos multivariados, tais como : Análise de Regressão Linear Múltipla, Análise Fatorial e Análise Discriminante, bem como, alguns métodos multicriteriais, como Processo de Análise Hierárquica - AHP, Tomada de Decisão Interativa Multicritério -TODIM, Electre II, Lootsman, Processo de Análise em Rede – ANP e Teoria de Utilidade Multiatributo.

IV.2 – Métodos Estatísticos Multivariados

IV.2.1 – Análise de Regressão Linear

A análise de regressão tem sido, amplamente, empregada no estudo de problemas complexos. É uma técnica estatística cujo principal objetivo é analisar a relação entre uma variável chamada variável dependente, com um conjunto de variáveis que possam explicá-la denominadas variáveis independentes. Os modelos de regressão linear são bastante difundidos e aplicados atualmente, devido as suas simplicidades e facilidades de manipulação.

As equações de regressão podem possuir diversas formas - exponencial, hiperbólica, linear, entre tantas, porém, a forma mais importante e usada é a linear simples ou múltipla. Entretanto, independente da forma adquirida pela equação de regressão, os seguintes passos devem ser observados para sua formulação:

- 1 - Atenção especial na coleta de dados, bem como na maneira com que estes dados serão utilizados, pois tem-se por finalidade a construção de um modelo que se aproxime ao máximo da realidade ;
- 2 - Formular um modelo matemático, observando a relação existente entre a variável dependente e as variáveis independentes;
- 3 - Estimar os parâmetros do modelo, pelo método dos mínimos quadrados.

A qualidade destas informações determinará a qualidade da equação de regressão. Os dados podem ser obtidos em experimentos de laboratório, de campo ou através de pesquisas, geralmente, as coletas por pesquisa ou experimento são de custo bastante elevado .

Através de técnicas estatísticas procura-se determinar uma equação matemática que relacione a variável dependente, com um conjunto de variáveis independentes. Deste modo, obtém-se uma equação de regressão linear, expressa da seguinte forma:

$$y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_nX_n$$

Onde :

y - Variável dependente que corresponde ao valor estimado de cada observação.

Representa o fenômeno a ser explicado pelas variáveis independentes ;

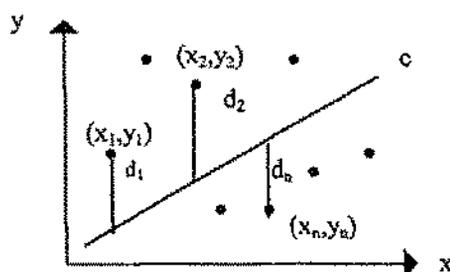
b_0 - Termo constante, que representa a parte da variável Y não explicada pelas variáveis independentes;

b_1, \dots, b_n - Coeficientes de regressão parcial das variáveis independentes X_i ,
 $i = 1, 2, \dots, n$;

X_1, \dots, X_n - Variáveis independentes, $i = 1, 2, \dots, n$;

Baseado nos dados coletados, procura-se determinar os coeficientes de regressão, para a elaboração de um modelo. Entretanto, no ajustamento da função aos dados, o procedimento usado é a técnica de regressão pelo critério dos mínimos quadrados, através do qual uma curva é ajustada a um conjunto de dados de tal modo que o somatório do quadrado entre a diferença dos valores estimados e observados seja mínima .

Seja ajustar uma reta aos dados constantes do diagrama abaixo:



Para determinado valor x_1 , haverá uma diferença entre o valor y_1 e o correspondente valor ajustado determinado pela curva c. Tal diferença é denotado por d_1 que corresponde ao desvio, erro ou resíduo. Seu valor poderá ser positivo, negativo ou zero. Analogamente, para os valores x_2, \dots, x_n os desvios serão os correspondentes d_2, \dots, d_n . A reta dos mínimos quadrados que aproxima ou ajusta o conjunto de pontos $(x_1, y_1), \dots, (x_n, Y_n)$ tem por equação:

$$y = a + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_nX_n$$

No caso mais simples de regressão tem-se apenas duas variáveis. A variável dependente (Y) e uma variável independente (X). A relação geral neste caso é $Y=a+bX$, onde os coeficientes a e b são determinados através do seguinte sistema de equações:

$$\begin{aligned} Y &= an + bX \\ \Sigma Y &= a + b\Sigma X \\ \Sigma XY &= a\Sigma X + b \Sigma X^2 \end{aligned}$$

No que tange a parte constante, pode-se dizer que representa a parcela da variável dependente não explicada pelas variáveis independentes. Obtida a equação de regressão linear, a etapa seguinte, é analisar sua validade através das análises numérica, qualitativa e testes estatísticos. A avaliação numérica de uma equação de regressão é feita, normalmente, com base na análise de três parâmetros: Erro Padrão de Estimativa, Coeficiente de Determinação e Coeficiente de Correlação.

Erro Padrão de Estimativa ($S_{y,x}$):

$$S_{y,x} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - y_{oi})^2}{n - k - 1}}$$

Coeficiente de Determinação (R^2):

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 - \sum_{i=1}^n (y_i - y_{oi})^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}$$

Coeficiente de Correlação (R):

$$R = \sqrt{R^2}$$

Onde :

y_i - Valor real da variável dependente;

\bar{y} - Média dos valores reais da variável dependente;

$y_{\hat{a}}$ - Valor estimado da variável dependente;

n - Número total de observações;

k - Número de variáveis independentes no modelo.

Vale ressaltar que quando os valores estimados estiverem próximos dos valores observados (reais) menores serão os desvios entre esses valores e, conseqüentemente, menor será o valor do erro padrão de estimativa e mais próximo da unidade é o valor do coeficiente de determinação. Entretanto, quando uma equação de regressão é construída sem uma relação linear bem definida entre cada variável independente e a dependente não produzirá bons resultados. Para isto, é necessário uma análise qualitativa da equação de regressão. Portanto, se as variáveis independentes possuem uma relação de causa e efeito com a variável dependente, a equação obtida passa a ter um sentido lógico definido. Um outro aspecto importante é que entre as variáveis independentes não deve haver correlação, caso contrário, haverá o aparecimento da multicolinearidade entre as variáveis independentes, afetando a interpretação da equação.

Em se tratando dos testes estatísticos, estes analisam se os coeficientes de regressão são estatisticamente significantes a um determinado nível de significância α adotado. A significância ou não do coeficiente de regressão é dada pelo teste estatístico " t " da distribuição Student. O valor de " t " é calculado ($t_{\text{calculado}}$) dividindo o determinado coeficiente de regressão pelo respectivo erro padrão de estimativa. Em seguida, compara-se este valor com um valor crítico ($t_{\text{crítico}}$), obtido em uma tabela de distribuição Student para um certo nível de significância adotado. Para isto, adota-se a hipótese nula (coeficiente de regressão parcial igual a zero) e testa-se essa hipótese contra a hipótese alternativa (coeficiente de regressão parcial diferente de zero). Se $t_{\text{calculado}} > t_{\text{crítico}}$, rejeita-se a hipótese nula e aceita-se a hipótese alternativa. Nesse caso, diz-se

que o coeficiente de regressão parcial é estatisticamente significativo a um certo nível de significância . A rejeição da hipótese nula assegura apenas um ou alguns coeficientes de regressão parcial, não necessariamente todos, são diferentes de zero. Esse fato mostra a necessidade de se testar cada coeficiente de regressão parcial. Porém, se $t_{\text{calculado}} < t_{\text{crítico}}$, aceita-se a hipótese nula, dizendo-se que o coeficiente de regressão não é estatisticamente significativo ao nível de significância α .

O erro padrão de estimativa para cada coeficiente é obtido através da seguinte expressão :

$$S_b = \frac{S_{y,x}}{\sigma_{x_i} \cdot n(1-r^2)}$$

Onde :

S_b - Erro padrão de estimativa de um coeficiente de regressão;

σ_{x_i} - Desvio padrão da variável independente X_i ;

$S_{y,x}$ - Erro padrão de estimativa;

n - Número de observações;

r - Coeficiente de correlação.

IV.2.2 - Análise Fatorial

A análise fatorial é uma técnica estatística multivariada, cuja sua principal finalidade é transformar um conjunto de variáveis em um outro conjunto menor denominado de fatores, que em geral, não são correlacionados entre si e são extraídos do conjunto de variáveis originais de tal forma que o primeiro fator explica a maior parte da variância do conjunto de variáveis originais, o segundo fator explica a maior parte da variância remanescente, e assim sucessivamente. A análise fatorial está submetida aos seguintes passos:

- 1 – Preparação da matriz de correlação;
- 2 – Extração dos fatores iniciais que possibilita a redução das variáveis;
- 3 – Rotação para interpretação dos fatores.

O primeiro passo na aplicação da técnica de análise fatorial é a padronização da matriz de dados iniciais. Portanto ao se trabalhar com as variáveis padronizadas sabe-se, de antemão, que as mesmas possuem média igual a zero e desvio padrão igual a unidade. Após a padronização da matriz inicial, determina-se a matriz de correlação entre as variáveis, tal que:

$$R = \frac{AA^t}{N}$$

Onde :

A - Matriz de variáveis iniciais padronizada;

A^t - Matriz transposta ;

R - Matriz de correlação ;

N - Número de observações.

Após o cálculo da matriz de correlação, o segundo passo é constituído da redução das variáveis como da construção dos fatores iniciais. Para isto, determina-se os autovetores (f) correspondente aos autovalores (λ) associados a matriz de correlação (R), através da seguinte expressão:

$$\begin{aligned}Rf &= \lambda f \\Rf - \lambda f &= 0 \\(R - \lambda I)f &= 0\end{aligned}$$

Para a expressão acima ser verdadeira, faz-se $\det(R - \lambda I) = 0$, pois caso contrário o autovetor seria nulo, o que não é interessante na análise fatorial. A expressão supracitada, fornece-nos os autovalores. De posse destes, pode-se determinar os autovetores correspondentes a cada autovalor. Neste momento cabe salientar que os fatores são escolhidos a partir dos autovalores, com base em um critério numérico, por exemplo, a bateria de programas SPSS(Statistical Package for the Social Sciences) adota a unidade como autovalor mínimo, ou seja, todos os fatores que possuam autovalores menor que o mínimo são eliminados.

Segundo Anjos (1994), os fatores são construídos com base no interrelacionamento das variáveis iniciais. Os fatores são linearmente

independentes entre si, em virtude de serem ortogonais. Assim sendo o primeiro fator representa a melhor combinação linear, referente aos dados iniciais; o segundo fator representa a segunda melhor combinação linear, explica parte da variância que não foi explicada pelo primeiro, e assim sucessivamente. No que se refere a rotação da matriz de fatores, esta tem por finalidade transformar a matriz inicial em outra que proporcione uma melhor interpretação das variáveis. Deve-se, salientar que a rotação não influencia no resultado final. O que ocorre na fase de rotação é apenas uma redistribuição da variância.

IV.2.3 - Análise Discriminante

A análise discriminante é uma técnica estatística multivariada, cujo o principal objetivo é a construção de combinações lineares das variáveis originais, de tal forma que seja maximizada a separação entre os grupos. Além do mais, esta técnica pode ser usada para verificar se os grupos são realmente distintos, determinar o poder discriminatório das variáveis iniciais e identificar as variáveis que mais contribuem para a separação dos grupos. A análise discriminante permite, também, que se melhore a classificação inicial por meio de iterações, com a finalidade minimizar a variância interna dos grupos e maximizar a variância entre os grupos.

Matematicamente, pode-se dizer que o objetivo da análise discriminante é maximizar a relação entre a parcela correspondente à dispersão entre os grupos e a parcela correspondente à dispersão interna do grupo.

Cabe salientar que as funções discriminantes são obtidas em ordem decrescente de importância. A primeira função discriminante explica o máximo da variância entre os grupos, a segunda, o máximo da variância remanescente e assim sucessivamente. No que se refere ao poder discriminatório das variáveis, esta é realizada através do coeficiente de cada variável na função discriminante, por exemplo, na função discriminante a variável que apresentar maior coeficiente será a mais discriminatória. As funções discriminantes, podem ser escrita da seguinte forma :

$$D_j = d_{j1}Z_1 + d_{j2}Z_2 + \dots + d_{jp}Z_p, \quad p \leq m$$

Onde :

D_i - Função discriminante ;

Z_j - Variável discriminante j , na forma padronizada ($j=1,2,\dots,p$) ;

d_j - Coeficiente da variável discriminatória ;

m - Número de variáveis originais ;

p - Número de variáveis discriminatórias.

IV.3 – Métodos de Avaliação Multicriterial

IV.3.1 - Método AHP

O Processo de Análise Hierárquica (AHP), é um método de tomada de decisão multicriterial desenvolvido pelo matemático Thomas L. Saaty na década de 70, que se apresenta como uma teoria geral de medição. Sua finalidade básica compreende a inclusão e medição de fatores de maior importância nos casos em que se exige a tomada de decisão lógica e racional e onde estão envolvidos muitos elementos importantes na análise. Este método pode ser empregado para solucionar problemas complexos, entre eles, avaliar projetos de transportes.

O AHP parte do pressuposto de que é possível representar um problema através de uma estrutura hierárquica. Estas hierarquias são ferramentas fundamentais da mente humana, refletindo o modo como naturalmente as pessoas pensam e se comportam diante de uma decisão de um problema complexo [Rabbani e Rabbani, 1996].

Os avaliadores de projetos que desejam utilizar este método devem estudar o problema definindo-o cuidadosamente, incluindo os elementos mais relevantes possíveis, só então, procede-se a estruturação do problema em uma hierarquia. A partir da hierarquização, o AHP fornece uma priorização dos elementos relevantes na avaliação e possibilita uma revisão da estruturação do problema com grande flexibilidade, de modo que, os avaliadores possam expandir seus elementos ou mudar seus julgamentos levando a investigação da sensibilidade do modelo.

O método compreende a execução das seguintes etapas: estruturação hierárquica, julgamentos comparativos, priorização dos elementos e sintetização das prioridades.

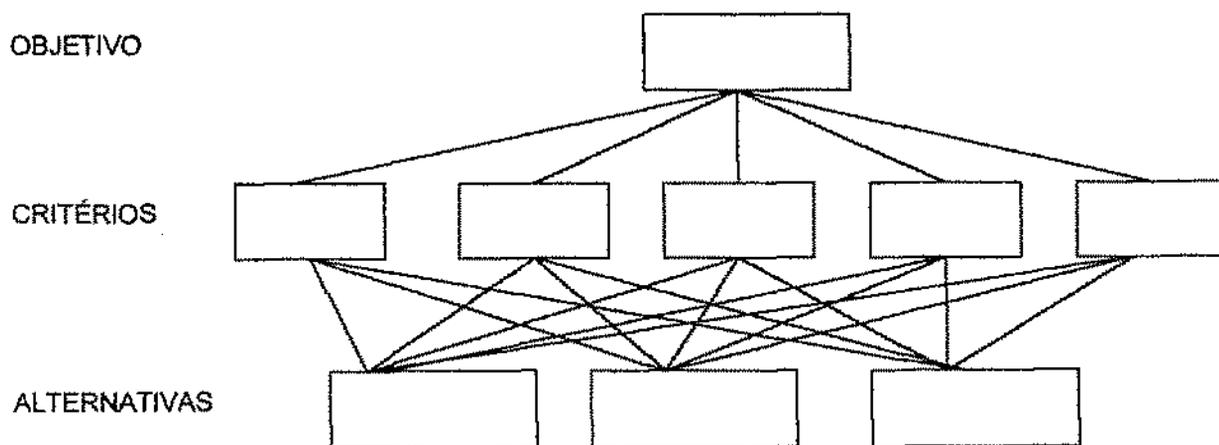
IV.3.1.1 - Estruturação Hierárquica

Saaty (1991), define uma hierarquia como sendo uma estrutura abstrata de um sistema que estuda as interações entre seus elementos, bem como seus impactos no sistema total.

Estruturar um problema de decisão é uma importante questão a ser considerada, pois depende de como e por quem o problema é percebido, e qual o objetivo que se pretende alcançar. Dependendo da criatividade e experiência dos avaliadores, a hierarquia pode apresentar-se na forma simples ou complexa.

A forma mais simples usada para estruturar o problema de decisão é através de uma hierarquia de três níveis de detalhes, composta por : objetivo, critérios e alternativas (Figura IV.1). Porém, existem estruturas hierárquicas mais complexas com maiores níveis de detalhamento. Cada conjunto de elementos na hierarquia ocupa um nível. O nível mais elevado é chamado de objetivo geral, que consiste unicamente de um elemento. Os níveis subsequentes podem possuir diversos elementos.

Figura IV.1 - Estrutura Hierárquica Simples



Fonte : Rabbani e Rabbani (1996)

Estruturar uma hierarquia obriga o avaliador ou decisor analisar totalmente a estrutura do problema, articular e debater a contribuição de cada elemento. O resultado de um processo de decisão depende fortemente deste passo inicial. O conjunto de elementos a serem apresentados no método pode ser gerado por observação no campo, dados empíricos, opiniões de grupo de pessoas experientes no assunto ou qualquer combinação destes.

Saaty (1990), citado em Rabbani & Rabbani (1996), declara que a importância deste método reside no fato de que pode ocorrer normalmente uma redefinição do conjunto original dos elementos, sendo esta uma das vantagens deste método.

IV.3.1.2 - Julgamentos Comparativos

O AHP baseia-se no pressuposto de que o ser humano tem a capacidade intrínseca adequada com base em informações e experiência que possui de uma determinada realidade, de estabelecer relações de preferências ou importâncias de elementos através de comparação por pares.

O julgamento comparativo é aplicado para obter a importância relativa de cada um dos elementos de um certo nível com relação a cada critério, ou propriedade do nível superior a este. A vantagem de usar a comparação paritária, é a de poder lidar com fatores que nas suas aplicações não são efetivamente quantificáveis.

Os julgamentos comparativos são realizados por pessoas com conhecimento sobre o assunto em pauta e são baseados em uma escala fundamental proposta por Saaty, apresentada na Tabela IV.1. Esta escala utiliza números que variam de intensidade de um a nove, para representar a intensidade de preferência de um elemento sobre o outro.

Tabela IV.1 - Escala Fundamental Sugerida por Saaty

Intensidade de Importância	Definição
1	Mesma Importância
3	Importância Moderada de uma sobre a Outra
5	Importância Grande ou Essencial
7	Importância Muito Grande
9	Importância Absoluta
2,4,6,8	Valores Intermediários
1,1 - 1,9	Escala para Comparação de Elementos bem Próximos
1/x	Recíproco para Comparações Inversas

Fonte : Rabbani e Rabbani (1996)

Esses pesos atribuídos a cada elemento, são sintetizados em uma matriz denominada matriz de comparação por pares, que de uma maneira genérica pode ser representada por:

$$A_{ij} = \begin{matrix} & \begin{matrix} A_1 & A_2 & \dots & a_n \end{matrix} \\ \begin{matrix} a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ \vdots \\ a_n \end{matrix} & \begin{bmatrix} W_1/W_1 & W_1/W_2 & \dots & W_1/W_n \\ W_2/W_1 & W_2/W_2 & \dots & W_2/W_n \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ W_n/W_1 & W_n/W_2 & \dots & W_n/W_n \end{bmatrix} \end{matrix}$$

A relação entre dois elementos a_i e a_j da estrutura hierárquica é dada por W_i / W_j . Esta relação vai mostrar qual dos dois elementos é o mais importante com relação a um critério ou propriedade do nível imediatamente superior.

As comparações paritárias entre elementos seguem algumas propriedades, como:

- 1 – Os elementos A_{ij} são sempre positivos;
- 2 – Reciprocidade, ou seja, uma matriz é considerada recíproca se somente se $a_{ij} = 1/a_{ji}$, para $\forall i, j$;
- 3 – Todo $a_{ii} = 1$, $\forall i$, ou seja, a comparação de um elemento com ele mesmo apresentam mesmo grau de importância ;
- 4- Consistência, ou seja, $a_{ij} = a_{ik} \cdot a_{kj}$ para $\forall i, j, k$. O segundo membro da equação pode ser escrito da seguinte forma: $a_{ik} \cdot a_{kj} = (W_i / W_k) \cdot (W_k / W_j)$, resultando em $a_{ik} \cdot a_{kj} = W_i / W_j$, porém, como $W_i / W_j = a_{ij}$, chega-se na identidade

procurada, isto é $a_{ij} = a_{ik} \cdot a_{kj}$. No entanto, as matrizes formuladas geralmente não apresentam uma consistência ideal, haja visto que as matrizes são construídas a partir dos sentimentos e julgamentos dos indivíduos, desta forma, é necessário avaliar o grau de inconsistência de cada matriz de comparação paritária.

IV.3.1.3 - Priorização dos Elementos

Esta etapa é caracterizada pela obtenção do vetor de prioridade relativa, que representa o grau de importância relativa dos elementos em cada nível da estrutura hierárquica, obtido para cada matriz de comparação por pares: grupo versus grupo, critérios versus critérios para cada grupo e alternativas versus alternativas para cada critério considerado.

Existem vários métodos propostos para obtenção dos vetores de prioridade. Um dos métodos consiste em somar cada linha da matriz de comparação paritária em seguida dividi-se cada valor resultante pela soma total dos valores, de modo que, após a divisão, o primeiro valor corresponderá a prioridade da primeira atividade, o segundo valor a prioridade da segunda atividade e assim sucessivamente. No entanto, esses procedimentos exigem aproximações decimais, que em geral, levam a erros implicando em distorções dos resultados. Deste modo Saaty (1991) propõe a derivação de autovetores para obtenção dos vetores de prioridade. Este processo é demonstrado partindo-se da seguinte definição [Santiago, 1998] :

$$a_{ij} = (W_i / W_j), \quad \forall i, j$$

consequentemente,

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} \cdot (W_j / W_i) = \sum_{j=1}^n 1, \quad \forall i$$

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} \cdot W_j = n \cdot W_i, \quad \forall i$$

Na forma matricial pode ser representado da seguinte maneira:

$$A \cdot W = n \cdot W$$

$$\begin{bmatrix} W_1/W_1 & W_1/W_2 & \dots & W_1/W_n \\ W_2/W_1 & W_2/W_2 & \dots & W_2/W_n \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ W_n/W_1 & W_n/W_2 & \dots & W_n/W_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} W_1 \\ W_2 \\ \dots \\ W_n \end{bmatrix} = n \begin{bmatrix} W_1 \\ W_2 \\ \dots \\ W_n \end{bmatrix}$$

O vetor de prioridade "W" é um autovetor associado ao autovalor "n" da matriz de comparação paritária "A".

Porém, como apenas a matriz de comparação por pares "A" é conhecida, o vetor "W" será obtido através da resolução do sistema $AW = nW$, que é equivalente a $(A - nI)W = 0$, onde I é a matriz identidade. Este sistema terá uma solução não nula se e somente se, o determinante de $(A - nI)$ for nulo. As raízes desta expressão correspondem aos autovalores "n" associados a matriz de julgamentos paritários "A". Assim para cada autovalor encontrado existirá um autovetor associado a matriz "A".

A matriz de comparação por pares "A" é considerada consistente, se e somente se, o autovalor máximo de A, o qual será denotado por λ_{max} , for igual a dimensão da matriz. Porém, como dificilmente trabalha-se com matrizes com esta característica, introduziu-se o que se denomina de desvio de consistência, para assim ter-se condições de avaliar o quanto uma matriz se aproxima ou se distancia da consistência ideal. Deste modo, o desvio de consistência da matriz de comparação por pares é medido pela Razão de Consistência (RC), que é dado por:

$$RC = IC / IR$$

$$IC = (\lambda_{max} - N) / (N - 1)$$

Onde:

IC -Índice de Consistência ;

IR - Índice Randômico ;

λ_{max} - Autovalor máximo da matriz de comparação por pares;

N - Dimensão da matriz de comparação por pares.

Para o cálculo do índice randômico, Saaty obteve uma tabela de valores médios para uma amostra de 500 matrizes para N variando de 1 à 11, como são mostrados na Tabela IV.2 .

Tabela IV.2 - Valores Médios do IR para N = 1, ..., 11

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
IR	0,00	0,00	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,51	1,59

No entanto, para encontrar o Índice de Consistência (IC), têm-se que determinar o valor de λ_{max} . Uma simples maneira de obter o valor exato ou uma estimativa do autovalor máximo, é o de multiplicar a matriz de comparação paritária pelo vetor de prioridade para obter-se um novo vetor, então, divide-se o primeiro elemento deste novo vetor pelo primeiro elemento do vetor de prioridade, o segundo elemento pelo segundo elemento do vetor de prioridade, e assim sucessivamente, até construir um outro vetor. Soma-se os elementos do último vetor obtido e em seguida divide este valor pelo número de componentes do mesmo, obtendo-se finalmente o valor de λ_{max} .

A matriz terá uma inconsistência admissível, se a Razão de Consistência (RC) for menor que 0,10. No entanto, quando RC extrapola este limite, Saaty sugere uma revisão nos julgamentos das matrizes de comparação por pares até que a matriz apresente uma razão de consistência admissível.

IV.3.1.4 - Sintetização das Prioridades

Nesta etapa, intenciona-se através da sintetização das prioridades, determinar o vetor de prioridade global, isto é, saber qual das alternativas é a mais indicada para a concretização do objetivo. Para obtenção do vetor de prioridade global, forma-se uma matriz composta por todos os vetores de prioridade relativa do mesmo nível que ao multiplicar pelo vetor de prioridade relativa do nível superior, fornece o resultado final. A priori, a melhor alternativa para atingir o objetivo almejado, será a que apresentar maior prioridade.

Todo processo poderá ser realizado por um programa computacional denominado Expert Choice 9, que devido a capacidade de processar um maior número de dados com exatidão e rapidez, facilita bastante a aplicação do método. A solução de um problema é determinada com base em dados inicialmente fornecidos a um determinado modelo. No entanto, estes dados podem sofrer modificações devido a diversas razões, por exemplo, foram mal estimados e/ou novas possibilidades apareceram após a formulação do modelo. Desta forma, a análise de sensibilidade tem por objetivo verificar os efeitos que poderão ocorrer caso haja alguma modificação nas prioridades de determinados elementos. Com o auxílio

de programa computacional denominado Expert Choice, a análise de sensibilidade pode ser feita através das simples modificações efetuadas no vetor de prioridade global, permitindo avaliar com rapidez as mudanças sofridas pelo respectivo vetor.

IV.3.2 - Método TODIM

O método TODIM - Tomada de Decisão Interativa e Multicritério foi desenvolvido pelo professor Gomes (1976), na sua tese de doutorado na Universidade de Berkeley, na Califórnia. Este método foi inspirado no método de Análise Hierárquica - AHP, desenvolvido por Saaty no início da década de 70 e que atende aos princípios básicos do auxílio multicritério à decisão. Para aplicação do método, se faz a atribuição de valores aos critérios e alternativas, bem como seleciona um critério de referência. O resultado final é uma classificação completa de todas as ações possíveis. O primeiro passo é a construção de matriz de utilidades parciais elaborada a partir de valorações obtidas através de julgamentos lidos em escala cardinal ou ordinal (Tabela IV.3), que julga os critérios em relação às alternativas. Posteriormente, faz-se a normalização da matriz de comparação das alternativas versus critérios, isto é, divide-se todos os elementos da coluna pelo valor máximo da mesma, obtendo-se assim, as prioridades relativas de cada elemento.

Tabela IV.3 - Escala de Comparação por Pares

Intensidade de Importância			
Escala Cardinal	Definição	Escala Ordinal	
		Alternativa x Critério	Critério x Critério
0	Nenhuma importância	A alternativa não contribue para o critério c	O critério p não tem nenhuma importância par
1	Ligeiramente pequena importância	A alternativa i tem ligeiramente pequena importância para o critério c	O critério p tem igual importância ao critério q
2	Mínima importância	A importância da alternativa i está entre muito pequena e pequena para o critério c	A importância do critério p é ligeiramente mais importante que o critério q
3	Pequena importância	A alternativa i tem pequena importância para o critério c	O critério p está entre igual e ligeiramente importante que o critério q
4	Importante	A alternativa i tem importância para o critério c	O critério p é mais importante que o critério q
5	Forte importância	A alternativa i tem forte importância para o critério c	O critério p é fortemente mais importante do que o critério q
6	Ligeiramente mais importante	A importância da alternativa i está entre forte e bastante forte para o critério c	A importância do critério p está entre forte/maior e muito forte/ maior que o critério q
7	Fortemente importante	A alternativa i é fortemente importante para o critério c	O critério p é muito fortemente mais importante do que o critério q
8	Importância muito grande	A importância da alternativa i está entre muito forte e absoluta para o critério c	A importância do critério p está entre muito forte e absolutamente forte que o critério q
9	Absoluta importância	A alternativa i tem absoluta importância para o critério c	O critério p é absolutamente mais importante do que o critério q

Fonte : Adaptação de Motta (1993) citado em Fernandes (1996)

O segundo passo, é a construção da matriz de comparação por pares entre critérios, formada a partir de valores atribuídos pelos representantes do grupo de interesse. Na comparação do critério com ele mesmo, a valoração é igual a unidade. Em seguida, faz-se a normalização desta matriz, obtendo as prioridades relativas de cada critério. Entretanto, o critério que apresentar maior prioridade é considerado como o critério de referência. De posse do critério de referência, calcula-se a medida de dominância $\delta(i,j)$ de uma alternativa i sobre uma outra alternativa j , através da seguinte expressão:

$$\delta(i,j) = \sum_{c=1}^m [a_{rc} (W_{ic} - W_{jc})]$$

Onde :

a - Valoração;

i, j - Alternativas;

r - Critério de referência;

c - Critério qualquer;

W - Valoração da alternativa (i,j) para o critério genérico c .

Se $\delta(i,j) > 0$, pode-se afirmar que a alternativa i domina a alternativa j . Caso $\delta(i,j) < 0$, isto implica que a alternativa i é dominada pela alternativa j . Vale salientar que deve ser verificado o grau de inconsistência das matrizes. A matriz terá uma inconsistência admissível se a Razão de Consistência (RC) for menor que 0,1, como visto anteriormente no método AHP.

IV.3.3 - Método ELECTRE II

O modelo ELECTRE II é uma extensão do método ELECTRE I, desenvolvido por Roy (1968, 1974, 1975). Entretanto, enquanto o ELECTRE I tem como objetivo reduzir um conjunto de soluções não-dominadas, o ELECTRE II faz uma ordenação completa de todas as ações, ou seja, uma classificação dos elementos de um conjunto, como pode ser visto a seguir:

Sejam:

$A = \{i/i \in [a, \dots, n]\}$ conjunto de ações possíveis;

$K = \{j \in [1, \dots, n]\}$ conjunto de critérios;

$E = \{x/x \in [v, \dots, z]\}$ conjunto de estados.

Para cada estado corresponde-se uma escala. As escalas utilizadas neste método são do tipo que atribui a cada elemento qualificações, tais quais: "mediocre", "passível", "mediano", "bom" e "muito bom"; as quais são associadas respectivamente, a conjunto numérico do tipo [0, 5, 10, 15 e 20].

Para cada critério $j \in K$, faz-se corresponder um estado $x \in E$. Desta forma, para todo $(a) \in A$, existe uma aplicação $\delta(j, x, a)$ associado a um estado, $\forall j \in K$. Estas aplicações $\delta(j, x, a)$ pode ser representadas matricialmente, através da seguinte forma:

$$\begin{array}{c} \begin{matrix} a \\ b \\ c \\ \vdots \\ \vdots \\ p \end{matrix} \end{array} \begin{bmatrix} \begin{matrix} i & \dots & j & \dots & n \end{matrix} \\ Y_i(a) \dots Y_j(a) \dots Y_n(a) \\ Y_i(b) \dots Y_j(b) \dots Y_n(b) \\ Y_i(c) \dots Y_j(c) \dots Y_n(c) \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ Y_i(p) \dots Y_j(p) \dots Y_n(p) \end{bmatrix}$$

As linhas desta matriz descrevem as ações possíveis e as colunas os critérios de análise. O termo geral $Y_j(i)$ desta matriz representa o valor de um dos estados possíveis em uma escala qualquer.

O método necessita que o decisor revele as suas preferências com relação aos critérios, ou seja, a importância relativa de cada critério deve ficar, claramente, explícita. Entretanto, dado dois elementos (a') e $(a'') \in A$, diz-se que (a') domina (a'') quando satisfaz as seguintes condições:

- Soma-se os pesos dos critérios atribuídos a alternativa (a') e verifica-se este somatório é maior ou igual aos pesos atribuídos aos critérios correspondentes a alternativa (a'') . Caso seja verdadeira, existe a condição de concordância suficientemente alta entre as alternativas (a') e (a'') .

- Se a alternativa (a') é considerado de menor importância em relação a alternativa (a'') para um critério j, e a diferença entre $|y_j(a'') - y_j(a')|$ for pequena, desta forma, existe a condição de discordância entre as alternativas (a') e (a'') não muito importante.

As condições de concordância suficientemente alta e as condições de discordâncias não muito importante são condições que dependem do decisor. Elas variam de indivíduo para indivíduo e revelam de uma maneira clara, o grau de rigor em admitir uma subordinação de uma ação sobre outra. Para este fim, o método define os coeficientes de concordância (C_1, C_2, C_3) e os de discordância (D_1, D_2), que são parâmetros com os quais o decisor explicita o seu grau de intransigência com relação às condições de dominância [Tallarico, 1990]. As condições acima, podem levar aos seguintes tipos de relações entre duas ações possíveis:

- a) $a' \longrightarrow a''$ – subordinação forte de a' sobre a''
- b) $a' \dashrightarrow a''$ – subordinação fraca de a' sobre a''
- c) $a' \parallel a''$ – a' e a'' são incomparáveis
- d) $a' \longleftarrow a''$ – subordinação forte de a'' sobre a'
- e) $a' \dashleftarrow a''$ – subordinação fraca de a'' sobre a'

Seja :

$$(a') \text{ e } (a'') \in A$$

$$j \in k$$

Define-se:

$J^+(a', a'')$ o conjunto de pesos P_j onde $y_j(a') > y_j(a'')$

$J^-(a', a'')$ o conjunto dos pesos P_j onde $y_j(a') < y_j(a'')$

$J^=(a', a'')$ o conjunto dos pesos P_j onde $y_j(a') = y_j(a'')$

Então:

$$p^+(a', a'') = \sum P_j, j \in J^+(a', a'')$$

$$p^-(a', a'') = \sum P_j, j \in J^-(a', a'')$$

$$p^=(a', a'') = \sum P_j, j \in J^=(a', a'')$$

Dados os coeficientes de concordância (C_1, C_2, C_3), tais que: $1 > C_1 > C_2 > C_3 > 0$ e os coeficientes de discordância (D_{1j}, D_{2j}), $\forall j \in K$, tem-se:

1) $a' \rightarrow a''$ subordinação forte de (a') sobre (a'') se uma das duas condições abaixo forem satisfeitas:

Condição 1:

i) $P+(a', a'') \div P-(a', a'') \geq 1$

ii) $C(a', a'') \geq C_1$ onde:

$$C(a', a'') = P+(a', a'') + P=(a', a'') \div P+(a', a'') + P=(a', a'') + P-(a', a'')$$

iii) $\forall j \in j-(a', a'')$

$$D(a', a'') = y_j(a'') - y_j(a') \leq D_{2j}, \forall j \in k.$$

Condição 2:

i) $P+(a', a'') \geq 1$

ii) $C(a', a'') \geq C_2$ onde:

$$C(a', a'') = P+(a', a'') + P=(a', a'') \div P+(a', a'') + P=(a', a'') + P-(a', a'')$$

iii) $\forall j \in j-(a', a'')$

$$D(a', a'') = y_j(a'') - y_j(a') \leq D_{1j}, \forall j \in k.$$

2) $a' \rightarrow a''$ subordinação fraca de (a') sobre (a'') se a condição abaixo for satisfeita:

i) $P+(a', a'') \div P-(a', a'') \geq 1$

ii) $C(a', a'') \geq C_3$

iii) $\forall j \in j-(a', a'')$,

$$D(a', a'') = y_j(a'') - y_j(a') \leq D_{1j}, \forall j \in k.$$

3) (a', a'') as duas ações serão incomparáveis se qualquer outra combinação ocorrer.

Finalmente, após se estabelecer as relações de dominância entre os pares de projetos, parte para a ordenação dos mesmos [Tallarico, 1990].

IV.3.4 - Método LOOTSMAN

O método de LOOTSMAN foi desenvolvido pelo professor F. A. Lootsman em 1987. Sua finalidade é ordenar as diversas alternativas estudadas por diversos grupos decisores, o que caracteriza a tomada de decisão em grupo.

Ao contrário dos outros métodos apresentados (Electre I, Electre II, AHP) que foram concebidos para a ordenação das ações possíveis, segundo as preferências de um grupo de decisores homogêneos, o método Lootsman possibilita a ordenação das ações possíveis segundo as preferências de vários grupos de decisores heterogêneos. Uma outra característica é que não existe uma obrigatoriedade de que todos os grupos envolvidos demonstrem todas as suas preferências, o que quer dizer que o método trabalha, ao contrário dos demais, diante de observações incompletas ("missing observations").

Inicialmente introduz-se uma escala de julgamentos com pesos inteiros $P(n)$, onde varia de zero a seis, que corresponde às seguintes gradações:

$P(06)$ – preferência muito forte (dominância) de uma ação sobre a outra;

$P(04)$ – preferência forte de uma ação sobre a outra;

$P(02)$ – preferência fraca de uma ação sobre a outra;

$P(0)$ – indiferença entre duas ações.

Os valores intermediários servem como julgamentos de compromisso quando não existir uma definição exata. Segundo Tallarico (1990), a diferença $[P(n+1) - P(n)]$ deve ser maior ou igual à menor diferença perceptível, que é proporcional a $P(n)$. Em consequência, a escala numérica é baseada na relação abaixo:

$$P(n+1) - P(n) = \varepsilon P(n)$$

Onde ε é uma constante que independe de n .

Assumindo $P(0) = 1$, tem-se:

$$P(n+1) = (1+\varepsilon) \cdot P(n)$$

$$P(n+1) = (1+\varepsilon) (1+\varepsilon) P(n-1) = \dots = (1+\varepsilon)^{n+1}$$

$$P(n) = (1+\varepsilon)^n$$

Fazendo-se $\exp(\delta) = (1+\varepsilon)$, obtém-se:

$$P(n) = \exp(\delta n)$$

Onde δ representa o parâmetro da escala. Lootsman (1987), adota $\delta = \frac{1}{2}$ para obtenção da seguinte escala:

Tabela IV.4 – Escala de Julgamentos Sugerida por Lootsman (1987).

P(n)	Estado	P(n) = exp(δn), $\delta=1/2$
P(6)	Preferência muito forte	20,1
P(4)	Preferência forte	7,4
P(2)	Preferência fraca	2,7
P(0)	Indiferente	1,0

Fonte: Tallarico (1990)

O método é basicamente dividido em duas etapas. Na primeira etapa, faz-se uma comparação paritária para avaliar a performance dos critérios, como nos casos dos métodos TODIM e AHP, no entanto, usa-se a escala geométrica sugerida por Lootsman (1987) que trabalha com valores exponenciais. Na segunda etapa, compara-se por pares as ações possíveis em relação a cada critério, utilizando os mesmos procedimentos adotados no AHP. Finalmente, agrega-se os resultados, chegando-se a ordenação final do vetor de importâncias relativas.

IV.3.5 - Processo de Análise em Rede – ANP

O Processo de Análise em Rede “The Analytic Network Process – ANP”, surgiu a partir de observações feitas pelo matemático Thomas L. Saaty. Esta metodologia bem como o ANP desenvolvido por este mesmo autor, possibilitam o envolvimento de relações entre grupos, critérios e alternativas que auxiliam na tomada de decisão.

O Processo de Análise em Rede – ANP, pode ser então definido como uma teoria de medição utilizada para deduzir a importância relativa de alternativas cursos de ação, chegando à síntese do problema a partir de uma estrutura complexa em forma de rede que permite a inclusão dos principais grupos de interesse, seus objetivos e critérios relevantes sejam eles tangíveis e intangíveis, bem como as relações de dependência entre tais elementos.

O processo metodológico do ANP, baseia-se na forma pela qual os seres

humanos percebem e estruturam um problema complexo. Inicialmente, a mente humana quando confrontada com a complexidade de determinados sistemas, instintivamente os decompõe em suas principais partes tais como: objetivos, critérios, alternativas, entre outros, e agrupa tais elementos em grupos segundo propriedades comuns. Segundo Lucena (1999), a tendência natural de lidar com estes grupos é compará-los, tarefa esta realizada diariamente em decisões simples inconscientemente, e então sintetizá-los para, finalmente, determinar a importância relativa dos elementos envolvidos. Desta forma, o ANP permite a avaliação da influência de um critério sobre outro através de julgamentos que servirão para verificar a importância relativa dos elementos considerados no modelo. O ANP é composto das seguintes etapas:

- (1) Estruturação do modelo na qual serão definidos todos os elementos e relações de dependência do sistema;
- (2) Julgamentos Paritários onde os elementos serão comparados entre si com base em uma escala de medição preestabelecida;
- (3) Priorização dos julgamentos através de métodos de derivação por autovetores e finalmente,
- (4) Síntese dos resultados, obtendo-se a importância relativa dos elementos do sistema, a partir dos vetores de Prioridades calculados na etapa anterior. O ANP permite ainda, realizar uma análise de sensibilidade, para verificar os efeitos que poderão ocorrer caso haja alguma modificação nas prioridades de certos elementos.

IV.3.5.1 - Estruturação do Modelo

Nesta fase são definidos os objetivos, critérios, alternativas e interrelações do sistema. Assim, o modelo estruturado representa uma simulação do sistema real e o sucesso da aplicação dependerá da experiência e criatividade do planejador.

Atualmente, existe uma tendência de decompor problemas complexos em estruturas simples em forma de hierarquias, como é o caso dos modelos de análise hierárquica. Entretanto, apesar da maior simplicidade que estes modelos possuem, não permitem em sua estrutura a inclusão de dependência e o retorno.

O Processo de Análise em Rede, segundo Saaty (1996) citado em Lucena (1999), é a primeira teoria matemática que torna possível lidar sistematicamente com todos os tipos de dependência e retorno, permitindo a representação, análise e sintetização de todas as interações através de um procedimento lógico.

A primeira etapa da fase de estruturação do modelo corresponde a formação de uma hierarquia de controle. Uma das formas mais comuns de se construir uma hierarquia de controle em um modelo de rede é modelá-lo com, no mínimo, duas hierarquias: uma hierarquia de benefícios e outra de custos. A segunda etapa da fase de estruturação do modelo corresponde a estruturação dos submodelos. Estes submodelos são formados por redes de influência que representam as relações de dependência entre todos os elementos que fazem parte do sistema e são associados aos critérios de controle e subcritérios da hierarquia de controle.

Os submodelos de benefício e custo, são formados por componentes que por sua vez são compostos por um conjunto de elementos que devem estar de alguma forma relacionados. Os componentes e elementos definidos para formar os submodelos, inicialmente não estão automaticamente organizados. No entanto, é necessário que os mesmos estejam associados através de ligações que representam as relações de dependência e influência existente entre os elementos do sistema. Desta forma, as ligações são feitas baseadas na influência de um componente sobre o outro (dependência externa) e entre os próprios elementos de um componente (dependência interna). As ligações entre os componentes são representadas através de setas que indicam a direção de cada ligação. Se um componente possui uma linha com uma seta apontando para outro componente significa que este último influencia o primeiro. No caso de haver um retorno (feedback) de influências, existem setas em ambas as direções. A dependência interna de um grupo existe quando os elementos pertencentes a estes grupos podem ser comparados entre si. Esta relação interna entre os elementos de um componente é identificada por uma seta semicircular sobre cada um que possui a relação. Vale salientar que todos os elementos do sistema não precisam necessariamente estar interligados.

Os submodelos geralmente possuem uma estrutura diferente para cada critério de controle, embora se ressalte que deve haver um conjunto de alternativas comum a cada submodelo. Portanto, para o submodelo de benefícios, procura-se determinar os elementos que proporcionam maior benefício, já com relação ao submodelo de custos, procura-se identificar os elementos de maior custo. Estruturado o modelo a etapa seguinte corresponde aos julgamentos e comparações paritárias.

IV.3.5.2 - Julgamentos e Comparação por Pares:

Após formulado o modelo e estabelecida todas as ligações, a próxima etapa a ser cumprida é o julgamento realizado através de comparações por pares. Para tanto, utilizou-se a escala fundamental sugerida por Saaty (Tabela IV.1).

Nos modelos em forma de rede que possuem conjunto de componentes e elementos, é necessário formar dois conjuntos de comparações. O primeiro conjunto compara os componentes entre si em relação a um determinado critério de controle. No segundo conjunto, a comparação é feita entre os elementos do próprio componente. Os julgamentos são sintetizados em uma matriz quadrada $A_{n \times n}$, cujos elementos representam a importância relativa de um elemento i sobre um elemento j . Estes elementos denominados a_{ij} são representados pela razão w_i/w_j onde (w_1, \dots, w_n) são os pesos numéricos que refletem os julgamentos. Esta matriz segue a mesma forma e propriedades utilizadas no Processo de Análise Hierárquica.

Segundo Saaty (1996) citado em Lucena (1999), não se deve exagerar o número de ligações efetuadas e, conseqüentemente, o número de julgamentos realizados. Desta forma, inúmeras ações podem ser tomadas, como por exemplo, reduzir o número de componentes e elementos, utilizar um modelo combinado de benefício e custo, entre outros.

IV.3.5.3 - Priorização dos Elementos do Sistema:

Nesta etapa, deseja-se saber a importância relativa dos elementos, ou seja, a ordem de prioridade dos mesmos. Para tanto, deve-se obter vetores de prioridade para cada matriz de comparação paritária. Para problemas complexos, utiliza-se a

derivação por autovetores para obtenção dos vetores de prioridade, segundo os mesmos procedimentos do Processo de Análise Hierárquica. Após determinado os vetores de prioridade, necessita-se verificar a consistência de cada matriz, através do cálculo da Razão de consistência. No entanto, observa-se que se a razão de consistência for menor que 0,1, a inconsistência da matriz será considerada tolerável. Caso contrário Saaty sugere que seja feita uma revisão nos julgamentos das matrizes de comparação paritária até que se encontre uma inconsistência tolerável.

IV.3.5.4 - Sintetização das Prioridades

O principal objetivo desta etapa, é a obtenção dos resultados globais das alternativas, classificando-as de acordo com suas prioridades. Para esta finalidade, constroi-se uma matriz denominada supermatriz composta pelos respectivos vetores de prioridades das matrizes de comparação paritária, obtidos na etapa anterior. De acordo com Saaty (1996), citados em Lucena (1999), considerando o vetor C_h , representativo dos componentes, com $h = 1, \dots, n$, e que possuem n_h elementos denominados $e_{h1}, e_{h2}, \dots, e_{hn}$, os impactos dos elementos sobre os componentes são representados por um vetor de prioridades resultantes da comparação por pares. A supermatriz do sistema será então:

$$\begin{array}{c}
 \left. \begin{array}{l} e_{11} \\ e_{12} \\ \dots \\ e_{Nn1} \end{array} \right\} \\
 \left. \begin{array}{l} e_{21} \\ e_{22} \\ \dots \\ e_{Nn} \end{array} \right\} \\
 \left. \begin{array}{l} e_{N1} \\ e_{N2} \\ \dots \\ e_{Nr} \end{array} \right\}
 \end{array}
 \begin{array}{c}
 \begin{array}{c} C_1 \\ \{ e_{11} \ e_{12} \ \dots \ e_{1n1} \} \end{array} \\
 \begin{array}{c} C_2 \\ \{ e_{21} \ e_{22} \ \dots \ e_{2n2} \} \end{array} \\
 \dots \\
 \begin{array}{c} C_N \\ \{ e_{N1} \ e_{N2} \ \dots \ e_{NnN} \} \end{array}
 \end{array}
 \begin{array}{c}
 W_{11} \\
 W_{12} \\
 \dots \\
 W_{1N} \\
 \\
 W_{21} \\
 W_{22} \\
 \dots \\
 W_{2N} \\
 \\
 \vdots \\
 \vdots \\
 W_{N1} \\
 W_{N2} \\
 \dots \\
 W_{NN}
 \end{array}$$

FONTE: Lucena(1999)

As prioridades finais da supermatriz são obtidas através da multiplicação desta matriz por ela mesma, tantas vezes quantas forem necessárias, até que se proceda a estabilização das colunas que deverão se tornar idênticas em cada bloco. Cada coluna de um bloco é um vetor de prioridades que representa o impacto de um componente sobre os elementos no sistema.

No ANP é possível realizar uma análise de sensibilidade de forma a verificar a estabilidade dos resultados frente a mudanças no julgamento. Portanto, segundo Lucena (1999), o ANP assegura que os resultados da aplicação do modelo não variam significativamente com pequenas alterações de julgamento. Esta análise é feita mudando-se a prioridade de um critério e mantendo-se as prioridades dos outros critérios.

IV.3.5.5 - Comparações entre os Métodos TODIM, AHP, ELECTRE II, LOOTSMAN e ANP.

Como pode ser visto, os métodos de decisões multicriteriais são instrumentos de importância considerável no auxílio às tomadas de decisões de problemas complexos. Principalmente no que se refere a racionalidade lógica que os mesmos proporcionam aos decisores e por estes terem a capacidade de agregar e tratar, simultaneamente, uma diversificada gama de elementos de relevância para um problema.

Quanto as características singulares que os quatro métodos apresentam, tem-se que: todos eles utilizam comparações paritárias; trabalham considerando tanto dados de ordem quantitativa como os de ordem qualitativa; possuem a capacidade de considerar uma diversificada gama de aspectos simultaneamente; e utilizam a derivação por autovetores para obtenção dos vetores de prioridades dos elementos.

O AHP apresenta como um método de notável importância para a resolução de problemas gerais, onde é possível priorizar as diversas alternativas estudadas com uso de hierarquia.

Observa-se que dentre os métodos multicriteriais estudados o TODIM é o de mais

fácil compreensão e aplicabilidade, além de poder reduzir, substancialmente, a tarefa do decisor no tocante a elaboração das matrizes de comparações paritárias, diferentemente do que ocorre no AHP e mais precisamente no ANP.

O método ELECTRE II apesar de não se preocupar com uma possível existência de vários níveis hierárquicos numa decisão, como o faz o método AHP, é um instrumento eficiente para classificações de projetos.

O método LOOTSMAN apresenta a grande vantagem de poder trabalhar com grupos heterogêneos e com informações incompletas, não havendo a obrigatoriedade de todos os grupos envolvidos opinarem por todas as ações estudadas. Todos os outros métodos multicriteriais aqui estudados, trabalham apenas com grupos homogêneos.

O método ANP possui a finalidade de Priorizar as diversas alternativas com uso de hierarquia. No entanto, este método permite relações de dependência entre os diversos elementos do sistema, bem como permite o retorno de influência em sua estrutura, sendo uma característica bastante relevante e sobre os quais os outros métodos multicriteriais não possuem.

IV.3.6 - Teoria de Utilidade Multiatributo

Esta teoria assume que um indivíduo é capaz de escolher alternativas entre as existentes de maneira que sua escolha maximize a sua satisfação. Parte-se da premissa que toda a informação disponível pelo indivíduo, pode ser expressa por uma função de utilidade, sendo esta função uma representação matemática formal das suas estruturas de preferências. Esta teoria é baseada nas seguintes etapas.

- Identificação das características relevantes do sistema (atributos);
- Atribuição de pesos aos atributos dentro de limites pré-determinados;
- Criação de funções de utilidade individual para cada atributo ($u_i(x_i)$);
- Sintetização das funções de utilidades individuais em uma única função de utilidade global.

$$U_{(a)} = u(X_1, \dots, X_n) = \sum_{i=1}^n K_i u_i(x_i)$$

Onde:

$U_{(a)}$ = função de utilidade global;

K_i = representa a importância relativa do atributo i , para $i = 1, \dots, n$;

$U_i(x_i)$ = representa a utilidade do critério i para a alternativa x ;

A aplicação da metodologia exige a definição de funções de utilidade individual relativa a cada um dos atributos. No entanto os indivíduos atribuem pesos aos atributos, dentro de limites pré-definidos. Essas utilidades individuais são agregadas para obtenção da prioridade global relativa a cada uma das alternativas.

Esta teoria foi aplicada por Oliveira (1994), para uma análise multicriterial do sistema de transporte que serve aos trabalhadores do Distrito Industrial da cidade de Campina Grande-PB. O estudo teve como objetivo avaliar o comportamento dos usuários, com relação aos atributos relevantes na escolha modal. Assim, foram apresentadas quatro alternativas habitualmente utilizadas pelos trabalhadores: transporte público, bicicleta, ônibus oferecido pela empresa e viagens a pé. Os atributos utilizados e considerados relevantes na escolha da alternativa foram: tempo gasto na viagem, tarifa, segurança e confiabilidade. Cada usuário atribuiu valores de zero a dez as alternativas de acordo com suas preferências. Em seguida atribuíam pesos às alternativas com relação a cada atributo. Os resultados obtidos a partir da aplicação desta metodologia indicaram uma importância relativa igual a 0,33 para o uso do ônibus fornecido pela empresa, seguido do uso da bicicleta com peso igual 0,32, o transporte público com 0,29 e por fim, viagens a pé com 0,06 de importância. Para os critérios considerados, o tempo gasto na viagem adquiriu um peso relativo de 0,28 seguido da segurança com 0,22 de importância, confiabilidade com 0,19, conforto com peso relativo de 0,17 e tarifa com 0,14.

IV.4 - Conclusão

No emprego da análise de regressão o processo, geralmente, usado de coeficiente de determinação igual a unidade e menor erro padrão de estimativa, para aceitação da equação, não é suficiente, devendo-se desta forma verificar a magnitude e o sinal dos coeficientes de regressão, bem como sua respectivas

significâncias a um determinado nível de significância estabelecido, além de ser necessária uma análise lógica de causa-efeito entre a variável dependente e as variáveis independentes, portanto, após todas estas verificações tem-se condições de aceitar ou rejeitar a equação de regressão. Uma das desvantagens das equações de regressão, diz respeito aos coeficientes de regressão parcial que são considerados constantes ao longo do tempo, ou seja, supõe-se que não haverá mudanças econômicas, sociais, tecnológicas, entre outras na área de estudo.

As técnicas análise fatorial e análise discriminante, proporcionam um maior grau de detalhamento na análise de resultados, quando comparadas com a análise de regressão, pois permitem a identificação de indivíduos de comportamentos semelhantes, e por conseguinte, agrupá-los segundo um determinado padrão. Devido estas características da análise fatorial e discriminante, pode-se considerá-las como modelos de análise comportamental, enquanto que a análise de regressão pode ser considerada como um modelo agregado. Salienta-se que os modelos comportamentais são mais confiáveis, uma vez que as conclusões estão baseadas em grupos de comportamentos semelhantes em relação ao sistema de transporte. Finalizando-se, ressalta-se que o uso de qualquer uma das técnicas está associado aos conjuntos de dados disponíveis e objetivos do estudo que pretende-se desenvolver. Ainda que, estes modelos não são diretamente utilizados na avaliação de projetos, estes correspondem como uma ferramenta de auxílio na análise das variáveis.

Entretanto, como pode ser visto, os métodos de decisões multicriteriais são instrumento de importância considerável na avaliação de projetos de transportes, principalmente no que se refere a racionalidade e lógica que os mesmos proporcionam aos avaliadores. Todos os métodos multicriterias utilizam comparações paritárias, permitindo desta forma, lidar com fatores que nas suas aplicações não são efetivamente quantificáveis, ou seja, trabalham usando tanto dados de ordem quantitativa como de ordem qualitativa, uma outra vantagem dos métodos é que possuem a capacidade de considerar simultaneamente uma diversificada gama de elementos relevantes para atingir o objetivo almejado, bem

como, apresenta em forma de matriz as prioridades dos diversos planos alternativos.

O uso destas metodologias, possibilitam com suprema vantagem sobre os demais métodos, a inclusão de todos os elementos importantes na análise. Permite ainda, proceder uma análise dos resultados obtidos quando alguma mudança é introduzida nas prioridades de alguns elementos da estrutura hierárquica.

CAPÍTULO V

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES PARA FUTURAS PESQUISAS

A questão fundamental a ser resolvida na escolha do melhor projeto, refere-se em saber se o mesmo é de valor para a sociedade e se ele realmente representa a melhor alternativa dentre todas as apresentadas. O problema é mais simples quando se observa apenas um indivíduo, pois para aplicar seus recursos pessoais, que são limitados, na compra de um determinado bem, ele escalona suas prioridades em função daquilo que tem maior importância para ele. O procedimento é semelhante para uma entidade privada, seus recursos são aplicados onde lhe for adequado, objetivando a rentabilidade do capital investido. No entanto, quando se trata de projeto público, o problema de especificar de quem são os interesses em risco, ou para quem o investimento é de valor, é muito mais complexo.

Este trabalho foi realizado sem pretensões de exaurir o assunto, mas no entanto, poderá vir a contribuir para auxiliar os responsáveis pelo processo decisório na avaliação de projetos de transportes. No decorrer do estudo, foi feita primeiramente uma visão geral da importância que representa o sistema de transporte no meio em que está inserido, procurando mostrar a inter-relação entre transporte e desenvolvimento. Em prosseguimento, a literatura consultada que serviu como revisão bibliográfica, permitiu o levantamento de alguns métodos de avaliação de projetos de transportes.

Os métodos ora apresentados, possuem vantagens e desvantagens. Em se tratando dos métodos tradicionais, estes são de fácil entendimento e são classificadas em dois grupos. O primeiro, baseia-se nas relações entre benefícios e custos e o segundo nas relações entre custo e efetividade. Entre as técnicas tradicionais de avaliação benefício-custo, a técnica do valor líquido presente, é considerada por alguns economistas como a técnica de análise mais simples e

menos tediosa que existe, principalmente pela simplicidade e por não haver ambiguidade ao indicar a alternativa que possui o maior potencial econômico. Esta técnica consiste inicialmente que todos os benefícios e custos obtidos ao longo do tempo sejam transferidos para a data zero, de modo, que seja possível fazer uma comparação entre os mesmos, através da diferença entre os benefícios presentes e custos presentes. Entre as alternativas consideradas economicamente viáveis é considerada a melhor aquela que apresentar maior valor líquido presente.

A técnica de razão benefício custo consiste em determinar os valores presentes de benefícios e custos e obter uma razão entre eles. Inicialmente testa-se a viabilidade econômica das alternativas, sendo consideradas viáveis as que apresentarem razão maior ou igual a unidade, sendo a melhor alternativa a que apresentar a maior razão benefício custo. Todavia, não é recomendável a utilização exclusiva desta técnica para avaliar as alternativas de um projeto de transporte, pois escolher a melhor alternativa baseada na maior razão, não expressa, necessariamente, maximizar o valor líquido presente.

O princípio básico da técnica de razão benefício custo incremental constitui-se da utilização dos mesmos valores presentes dos benefícios e custos determinados na técnica de valor líquido presente. As alternativas são ordenadas de maneira que aquela com menor custo inicial seja a primeira a ser analisada. A partir daí, em função do cálculo da razão benefício custo sobre o valor incremental, determina-se a melhor alternativa. É importante observar que nesta técnica, o resultado absoluto exerce papel fundamental na definição das ordens de prioridade. Para cada tipo de combinação entre o numerador e denominador, é possível estabelecer uma condição em relação à alternativa considerada como referencial na análise.

Em se tratando da técnica de taxa interna de retorno é uma taxa que torna os valores dos lucros futuros equivalente aos gastos realizados com o projeto, de forma a garantir uma taxa de remuneração para o capital investido. Comumente, é utilizada a taxa de mínima atratividade como referencial para se estabelecer se

a taxa interna de retorno é aceitável ou não. No entanto, esta técnica poderá apresentar valores ambíguos, dificultando a escolha da melhor solução.

Com relação a técnica da taxa interna de retorno incremental, esta é usada para evitar erros de interpretação na escolha da melhor alternativa. Ou seja, se dois projetos estiverem sendo analisados pela técnica de taxa interna de retorno e o de menor custo inicial apresentar retorno insuficiente, a análise incremental poderá ser utilizada para justificar qualquer incremento adicional de custo. Essa técnica é similar a técnica de razão benefício custo incremental. Assim, como observações feitas as demais técnicas econômicas apresentadas, recomenda-se que esta técnica não seja utilizada de forma isolada [Kawamoto e Furtado, 1997].

A avaliação baseada no custo e efetividade não requer uma relação essencialmente monetária. Este método procura descrever a importância de cada alternativa ao alcançar as metas e objetivos.

Para Furtado (1998), é importante que se conduza a análise econômica de um projeto usando mais de uma técnica tradicional de avaliação para que se teste a consistência dos resultados encontrados.

Entretanto, sem dúvida o critério econômico é fundamental, porque geralmente a demanda por projetos é muito maior do que seus recursos disponíveis e, portanto, avaliadores devem escolher projetos que proporcionem o máximo de benefício em relação aos recursos neles investidos. No entanto, as consequências de um projeto não se restringem ao critério econômico. Tomadores de decisão devem se preocupar também com outros aspectos importantes. Um desses aspectos é a questão da distribuição de renda.

É importante que se saiba quem é que paga os custos de um projeto e quem é que se beneficia dele. É possível que os benefícios e os custos sejam distribuídos desproporcionalmente a um indivíduo ou grupo. Além disso, existem um grande número de critérios tais como poluição sonora, acidentes, valorização e desvalorização do terreno, entre outros, que devem ser ponderados na avaliação.

Como os problemas de transporte são de natureza bem significativas, é preciso procurar conhecer suas causas e estudar algumas soluções alternativas, analisando-as adequadamente à luz de critérios compatíveis com a realidade. Assim, o tomador de decisão terá mais facilidade em decidir acertadamente, pois sua decisão estará baseada em informações mais variadas, utilizando não apenas fatores quantitativos monetariamente em sua análises, mas sobretudo, fatores qualitativos. Desta forma, levando em consideração esta abordagem, foi desenvolvido um capítulo intitulado métodos multicriteriais de avaliação, cujo principal objetivo foi mostrar que pode-se avaliar projetos de transportes utilizando múltiplos critérios simultaneamente.

O surgimento dos métodos multicriteriais tornou-se possível a construção de modelos mais aproximados da realidade. O método de avaliação multicriterial, em destaque o AHP, se enquadra perfeitamente nos moldes do moderno processo decisório, que parte da definição do objetivo que se pretende atingir; da geração de alternativas possíveis para atingir o objetivo fixado; da avaliação das referidas alternativas em função do objetivo e critérios propostos e finalmente, decidir qual dentre as alternativas estudadas será a melhor para ser adotada.

A escolha de um determinado curso de ação afeta os grupos envolvidos no processo decisório, diferenciando de intensidade para cada um deles. Por exemplo, uma determinada melhoria em um sistema de transporte pode impactar positivamente ou negativamente a sociedade em geral, operadores do sistema de transporte coletivo, motoristas, entre outros. Destaca-se portanto, a necessidade inerente de se considerar no processo todos os grupos de interesse, tanto os envolvidos direta ou indiretamente na tomada de decisão, quanto os grupos afetados pelo processo decisório.

Todos os grupos de interesse, conforme supracitado, possuem conjuntos de interesses e critérios particulares a cada um. Estes critérios podem ser quantificáveis (tangíveis) como é o caso de valores monetários como tarifas, preços de imóveis, custos operacionais, entre outros, ou não facilmente

quantificáveis (intangíveis) no caso de ser difícil quantificá-los monetariamente como conforto, segurança, confiabilidade, etc..

O método de avaliação multicriterial AHP induz a um maior entrosamento entre os avaliadores e os dirigentes responsáveis pelas decisões, já que existem etapas de trabalho que, forçosamente tem que contar com a participação simultânea de ambos. Assim, o processo decisório torna-se bem estimulante e com maiores chances de se tornar mais eficiente. O método compreende a execução das seguintes etapas: estruturação hierárquica, julgamentos comparativos, priorização dos elementos e sintetização das prioridades.

A primeira etapa do AHP, exige a apresentação do problema na forma de uma estrutura hierárquica dos elementos em diferentes níveis. Na realidade, define-se um objetivo global e a partir deste procura-se decompor o sistema em diferentes níveis de hierarquia.

Na etapa seguinte, aplica-se a comparação por pares aos elementos, por um grupo de indivíduos com experiência e conhecimento sobre o problema em questão. O grupo compara os pares de elementos baseado em uma escala de pesos, desenvolvida por Saaty, projetada para representar a intensidade de preferência entre elementos homogêneos na estrutura hierárquica. Esses julgamentos dão origem às matrizes de comparação por pares.

A partir das matrizes de comparação por pares obtém-se as prioridades relativas dos elementos em cada nível da estrutura hierárquica. Esta etapa do processo é denominada de princípio de priorização dos elementos. Logo após a priorização, corresponde a denominada sintetização de prioridades. Nesta etapa são indicadas as prioridades globais de todas as alternativas, dentre elas a que obter o maior peso, será considerada a melhor alternativa na solução do problema.

Uma das vantagens do método AHP refere-se a possibilidade de introduzir no modelo, fatores que nas suas aplicações não são efetivamente quantificáveis, desta forma, ao realizar comparação paritária entre elementos do mesmo nível com relação a cada critério ou propriedade do nível imediatamente superior,

atribuem-se pesos aos elementos, baseados em uma escala fundamental proposta por Saaty que varia de intensidade um a nove. Uma outra vantagem do método é a capacidade de agregar, simultaneamente, uma diversificada gama de elementos relevantes no processo decisório.

O que de fato se busca, com o desenvolvimento de métodos de avaliação de projetos de transporte é o envolvimento dos três principais segmentos diretamente agregados em torno de cada projeto: o usuário, aquele que na prática deveria ser o beneficiário em potencial; o avaliador, a quem compete reunir fatores relevantes na análise e formular soluções alternativas para resolução do problema em questão e o poder público, a quem, finalmente, sensível ao problema e munido de argumentos técnicos, cabe tomar a decisão de executar ou não o projeto.

Sugere-se que para dar continuidade a este estudo de métodos de avaliação de projetos de transporte, realizem os seguintes trabalhos :

- Realizar um estudo sobre a fixação de pesos atribuídos aos elementos relevantes no modelo de decisão multicriterial;
- Realizar uma aplicação utilizando a técnica de Processo de Análise Hierárquica com o auxílio do programa computacional Expert Choice para avaliar um projeto de transporte, incluindo fatores tangíveis e intangíveis no modelo.
- Realizar um estudo comparativo dos métodos de avaliação de projetos de transporte, através do uso de aplicações para a escolha do melhor projeto, baseado nos diversos métodos.
- Realizar um estudo sobre outros métodos de decisão multicriterial, entre eles, o método ANP – Processo de Análise em Rede, verificando as relações de dependência entre os elementos relevantes na análise para escolha da melhor alternativa.

CAPÍTULO VI

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

ADLER, H. A., Avaliação Econômica dos Projetos de Transportes, Editora S.A, 1971.

ANJOS, F. P., Uma Análise Multivariada do Sistema Integrado de Transporte de Aracajú, Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 1994.

BOLDRINI, J. L., et al., Álgebra Linear, 3ed, Harper & Row do Brasil, São Paulo, 1980.

BRANDÃO, G. B., Transportes e o Meio Ambiente no Brasil, Dissertação de Mestrado, Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 1996.

BRUTON, M. J., Introdução ao Planejamento dos Transportes, Editora Universidade de São Paulo, 1979.

BUARQUE, C., Avaliação Econômica de Projetos, Editora Campus, Rio de Janeiro, 1984.

COMISSÃO DE IMPACTO AMBIENTAL NOS TRANSPORTES PÚBLICOS, Considerações Básicas sobre Impacto Ambiental dos Sistemas de Transportes Públicos, Revista dos Transportes Públicos - ANTP, Ano 17, 1995.

COSTA, P. H. S., ATTIE, E. V., Análise de Projetos de Investimento, Rio de Janeiro, Editora da F. Getúlio Vargas, 1990.

CRUZ, W. S., Métodos Estatísticos Multivariados Aplicados à Análise de Transportes, Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal Da Paraíba, Campina Grande, 1983.

- DICKEY, J. W., **Metropolitan Transportation Planning**, McGraw-Hill, 1983.
- FERNANDES, S. I., **Uma Avaliação Multicriterial do Sistema de Transportes de Cargas do Brasil**, Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal Da Paraíba, Campina Grande, 1996.
- FURTADO, N., **Uma Nova Abordagem na Avaliação de Projetos de Transporte**, Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, EESC, São Carlos, SP, 1998.
- FURTADO, N., KAWAMOTO, E., **Avaliação de Projetos de Transportes**, Universidade de São Paulo, EESC, São Carlos, SP, 1997.
- HUTCHINSON, B. G., **Princípios de Planejamento dos Sistemas de Transporte Urbano**, Guanabara Dois, 1979.
- KAWAMOTO, E., **Análise de Sistemas de Transportes**, Universidade de São Paulo, EESC, São Carlos, SP, 1994.
- LEITÃO, D. M., **Administração Estratégica - Abordagem Conceitual e Atitudinal**, SENAI/DN, PETROBRÁS, Rio de Janeiro, 1995.
- LIRA, A. A. G., **Uma Abordagem Multicriterial dos Acidentes de Trânsito no Brasil**, Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal Da Paraíba, Campina Grande, 1993.
- LUCENA, L. F. L., **Uma Análise Sistêmica do Serviço de Transporte Intermunicipal de Passageiros**, Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal Da Paraíba, Campina Grande, 1999.
- MAIA, J. A. C., **Uma Análise Sistêmica dos Acidentes de Trânsito no Brasil**, Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal Da Paraíba, Campina Grande, 1995.
- MELLO, J. C., **Planejamento dos Transportes**, São Paulo, McGraw-Hill do Brasil, 1975.

- MELO, M. R. C., **Modelos de Custos de Construção Rodoviária para a Região Amazônica**, Dissertação de Mestrado, Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 1984.
- MEYER, M. D., MILLER, E. J., **Urban Transportation Planning - A Decision - Oriented Approach**, McGraw-Hill Series in Transportation, 1984.
- MOURA, S. C., **Algumas Considerações sobre a Avaliação de Projetos de Transporte em Áreas Urbanas**, Dissertação de Mestrado, Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 1979.
- PAPACOSTAS, C. S., PROVEDOUROS, P. D., **Transportation Engineering and Planning**, Prentice-Hall Englewood Cliffs, Second Edition, 1993.
- PARSON, M. J., CULLIGAN, M. J., **Planejamento : De Volta as Origens**, Editora Best Seller, São Paulo, 1988.
- PUCCINI, AL., et al., **Engenharia Econômica**, DIFEL, São Paulo, 1985.
- RABBANI, S. J. R., RABBANI, S. R., **Decisions in Transportation With the Analytic Hierarchy Process**, Campina Grande, UFPB, 1996.
- RABBANI, S. J. R., **Planejamento de Transporte**, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal Da Paraíba, Campina Grande, 1998.
- SAATY, T. L., **Multicriteria Decision Making: The Analytic Hierarchy Process**, McGraw-Hill, 1990.
- _____, **Método de Análise Hierárquica**, McGraw-Hill, Ltda e Makron Books, Brasil, 1991.
- _____, **The Fundamentals of Decision Making and Priority Theory with the Analytic Hierarchy Process**, RWS Publications, 1994.

SANTIAGO, M. C., Priorização de Alternativos Planos de Ação para a Prevenção de Acidentes de Trânsito, Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal Da Paraíba, Campina Grande, 1998.

SCHMIDT, A. M. A., Processo de Apoio à Tomada de Decisão Abordagens: AHP e MACBETH, Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas, Universidade Federal De Santa Catarina, Florianópolis, 1995.

SOUZA, A. C. V., Custos de Conservação em Rodovias de Concreto Asfáltico, Dissertação de Mestrado, Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 1986.

TEIXEIRA, D. M. M., Contribuição para Avaliação de Impactos Ambientais de Projetos de Rodovia, Dissertação de Mestrado, Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 1989.

VAL, L. A. A., Avaliação Econômica de Rodovias Vicinais, Dissertação de Mestrado, Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 1981.