

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL**

Avaliação de Projetos de Transportes Utilizando Análise Benefício Custo e Método de Análise Hierárquica

Roberto Moreira



**Campinas, SP
2000**

**UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL**

Avaliação de Projetos de Transportes Utilizando Análise Benefício Custo e Método de Análise Hierárquica

Roberto Moreira

Orientador: Jurandir Fernando Ribeiro Fernandes

Trabalho apresentado à Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Campinas como parte dos requisitos para obtenção do título de mestre em engenharia.

Atesto que esta é a versão definitiva da dissertação/tese.

Prof. Dr. _____

Matrícula: _____

**Campinas, SP
2000**

UNIDADE	RC
Nº CHAMADA	UNICAMP
	M813a
V	EX
TOMBO BC/	53258
PROC.	124108
C	<input type="checkbox"/>
D	<input checked="" type="checkbox"/>
PREÇO	R\$ 11,00
DATA	23/04/03
Nº CPD	

CM00182151-0

BIB ID 287826

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA - BAE - UNICAMP

M813a

Moreira, Roberto.

Avaliação de projetos de transportes utilizando análise benefício custo e método de análise hierárquica / Roberto Moreira.--Campinas, SP: [s.n.], 2000.

Orientador: Jurandir Fernando Ribeiro Fernandes.
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de
Campinas, Faculdade de Engenharia Civil.

1. Engenharia de transportes. 2. Projetos – Avaliação –
Custo-benefício. I. Fernandes, Jurandir Fernando Ribeiro.
II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de
Engenharia Civil. III. Título.

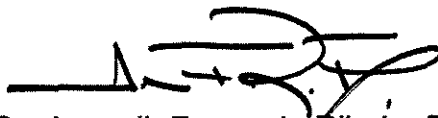
Assinatura do responsável
10/04/03
Matrícula

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL**

Avaliação de Projetos de Transportes Utilizando Análise Benefício Custo e Método de Análise Hierárquica

Roberto Moreira

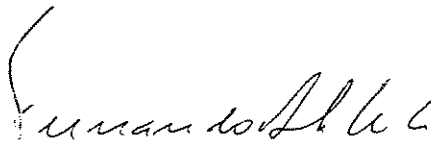
Dissertação de mestrado aprovada pela Banca Examinadora constituída por:



Prof. Dr. Jurandir Fernando Ribeiro Fernandes
Presidente e Orientador, Universidade Estadual de Campinas



Prof. Dra Maria Lúcia Galves
Universidade Estadual de Campinas



Dr. Fernando Augusto Howat Rodrigues
Logit – Logística, Informática e Transportes

Campinas, 20 de dezembro de 2000

109872000

Agradecimentos

Ao Professor Jurandir pelo apoio e orientação recebida.

Ao Fernando Rodrigues pelo apoio e pela constante disposição em discutir os problemas encontrados no desenvolvimento do trabalho.

À Secretaria Municipal de Transportes de Porto Alegre, na pessoa da Arquiteta Ida Bianchi, pela disponibilização das informações e apoio durante a realização do trabalho, e aos técnicos que participaram do grupo que desenvolveu os julgamentos.

Ao pessoal da Oficina Consultores, pela cessão dos dados e participação no grupo de especialistas que efetuou os julgamentos.

Ao pessoal da secretaria de pós graduação da engenharia civil, em especial, à Paula, pela ajuda nos encaminhamentos necessários.

À Dominique, pelo apoio e disposição em discutir os resultados parciais do trabalho.

Ao amigo Terra, pela ajuda no entendimento dos problemas matemáticos mais complicados que apareceram pelo caminho.

À Simonne, pelo incentivo constante, durante todo o tempo que durou este trabalho.

Sumário

1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVOS	5
3 AVALIAÇÃO DE PROJETOS DE TRANSPORTES	6
4 AVALIAÇÃO SOCIAL DE PROJETOS	7
4.1 Bases teóricas da avaliação social de projetos	10
4.2 Métodos quantitativos para avaliação e seleção de projetos	14
4.2.1 Custo de oportunidade	14
4.2.2 A variável tempo	15
4.2.3 Classificação dos métodos quantitativos	15
4.2.4 Descrição dos métodos quantitativos	17
4.2.5 Discussão sobre os métodos quantitativos de avaliação econômica	22
4.2.6 Conclusões preliminares	24
4.2.7 Análise de sensibilidade	24
4.3 Metodologias para avaliação social de projetos	25
4.3.1 Estimação dos valores de benefícios e custos para projetos de transportes	25
4.4 Limitações da avaliação econômica	28
4.5 Variáveis consideradas na avaliação de projetos de transportes	30
5 METODOLOGIAS MULTICRITERIAIS DE AVALIAÇÃO DE PROJETO	35
5.1 Introdução	35

5.2	Histórico	36
5.3	Classificação dos métodos	38
5.4	Escolha do AHP	39
5.5	O método de análise hierárquica (AHP)	41
5.5.1	Hierarquias	42
5.5.2	Estruturação da hierarquia	44
5.5.3	Tipos de hierarquia	45
5.5.4	Prioridades em hierarquia	46
5.5.5	Justificativa Intuitiva do Método	48
5.5.6	Cálculo dos autovalores e autovetores	51
5.5.7	Composição das prioridades para a hierarquia	53
5.5.8	Determinação da consistência dos julgamentos	54
5.5.9	Cálculo da Razão de Consistência para a hierarquia	56
5.6	Análise crítica do método de análise hierárquica	57
5.6.1	Inversão de ordem das alternativas (Rank reversal)	59
5.6.2	Cálculos para evitar a inversão de ordem	61
6	PROCEDIMENTO PROPOSTO	63
7	ESTUDO DE CASO	65
7.1	Introdução	65
7.2	Definição das alternativas	65
7.3	Aspectos urbanos e sócio econômicos de Porto Alegre	68
7.4	Aspectos do transporte coletivo de Porto Alegre	68
7.4.1	Demanda	68
7.4.2	Oferta	69
7.4.3	Transferências	70
7.5	Avaliação econômica das alternativas (análise B/C)	70
7.5.1	Custos das alternativas	71
7.5.2	Adequação dos custos financeiros para custos econômicos	78
7.5.3	Benefícios	81
7.5.4	Cálculo dos indicadores	84

7.6	Aplicação do Método de Análise Hierárquica	86
7.6.1	Estruturação da hierarquia	86
7.6.2	Obtenção dos julgamentos	88
7.6.3	Resultado final	100
7.6.4	Análise de sensibilidade	103
8	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	110
9	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	114
10	BIBLIOGRAFIA	117
	ABSTRACT	120
ANEXO I	Descrição do software “Expert Choice”	121
ANEXO II	Questionários utilizados para a obtenção dos julgamentos do grupo de especialistas	130

Lista de Tabelas

Tabela 5.1:	I.R. para matrizes de dimensão de 3 a 15. Fonte: (Saaty 1994, apud Morita 1998)	55
Tabela 7.1	Número de passageiros por tipo de dia e tipo de linha Fonte: Plano Diretor de Transporte Coletivo de Porto Alegre	69
Tabela 7.2	Dados operacionais do sistema de transporte de Porto Alegre Fonte: Plano Diretor de Transporte Coletivo de Porto Alegre	69
Tabela 7.3	Investimentos – Alternativa 1	72
Tabela 7.4	Investimentos – Alternativa 2	73
Tabela 7.5	Investimentos – Alternativa 3.....	74
Tabela 7.6	Investimentos em aquisição de frota	76
Tabela 7.7	Resumo dos custos de implantação	77
Tabela 7.8	Custo operacional do sistema	80
Tabela 7.9	Valores de tempo considerados	81
Tabela 7.10	Tempo gasto pelos usuários (média para o sistema - minutos)	82
Tabela 7.11	Número de passageiros transportados (passageiros / mês)	82
Tabela 7.12	Valor economizado para cada alternativa	83
Tabela 7.13	Diferença de custo operacional	83
Tabela 7.14	Fluxo de caixa para cada alternativa	84
Tabela 7.15	Resultado do cálculo dos indicadores	85
Tabela 7.16	Resumo dos resultados da aplicação do AHP	85

Resumo

Moreira, Roberto. **Avaliação de Projetos de Transportes Utilizando Análise Benefício Custo e Método de Análise Hierárquica**, Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, 2000, Dissertação de mestrado.

O presente trabalho discute a avaliação de projetos de transportes através da utilização de duas metodologias distintas aplicáveis ao problema: a tradicional avaliação social de projetos (análise B-C) e a análise multicriterial, através da utilização do método de análise hierárquica (AHP). A análise B/C é feita através da seleção e cálculo de indicadores de desempenho que, em geral, relacionam os benefícios e os custos das alternativas. O AHP é um método de avaliação multicriterial que trabalha com uma representação do problema decisório através de uma hierarquia e tem como característica principal, a utilização de julgamentos paritários de um grupo de especialistas, para a obtenção do ordenamento final das alternativas. Com este artifício o AHP admite a utilização de variáveis tanto qualitativas como quantitativas, neste caso quando existem dados numéricos.

É proposto, então, um procedimento para avaliação que utiliza as duas abordagens (análise B/C e AHP) complementarmente. A hipótese inicial foi que a utilização das duas metodologias, em conjunto, poderia produzir resultados mais consistentes na avaliação de projetos, em relação à abrangência da análise, uma vez que a análise B/C garante, além do ordenamento das alternativas, uma análise econômica de cada uma delas e a análise multicriterial permite a incorporação de variáveis de difícil quantificação no processo de avaliação. Assim, a metodologia proposta consiste na aplicação, em primeiro lugar, da análise Benefício Custo e em seguida, utilizando os resultados desta análise, é aplicado o Método de Análise Hierárquica, incorporando outras variáveis na avaliação.

O procedimento foi testado através da avaliação de quatro alternativas de intervenção na rede de transporte coletivo da cidade de Porto Alegre. Os resultados obtidos mostraram que o procedimento proposto foi bastante adequado para o tratamento do problema decisório analisado.

Palavras Chave:

Avaliação, transporte, projeto.

1 Introdução

O processo de tomada de decisão é de fundamental importância para a utilização racional dos recursos disponíveis na sociedade. Especialmente nos países em desenvolvimento os escassos recursos devem ser alocados de maneira a se obter o melhor resultado possível para a sociedade como um todo.

Todo processo racional de tomada de decisão, individual ou coletivo, envolve várias formas de avaliação, com diferentes níveis de sofisticação, dependendo da decisão envolvida, do tomador de decisão e das conseqüências esperadas (Stopher and Meyburg, 1976).

No setor de transportes as decisões freqüentemente tratam com grandes somas de recursos, com projetos de vida útil de mais de 20 anos e que influenciam diretamente na qualidade de vida das pessoas. Estes aspectos fazem com que a tomada de decisão no setor de transportes seja especialmente importante, devendo o processo de decisão ser cuidadosamente estudado.

Em se tratando de projetos públicos de transportes os métodos mais utilizados são os relacionados com a avaliação social de projetos, também chamada análise benefício custo social. Esta metodologia tem seus fundamentos na teoria do bem estar.

Muitas têm sido as críticas apontadas em relação à metodologia da avaliação social de projetos, principalmente em relação à sua capacidade de contemplar a complexidade do ambiente onde se dá o processo de tomada de decisão no setor de transportes.

Rodrigues (1995) aponta três limitações da avaliação social de projetos. A primeira diz

respeito à necessidade de monetarização da mensuração das variáveis componentes da análise, impedindo a consideração de variáveis não quantificáveis, que podem exercer papel fundamental no processo de decisão, notadamente os aspectos políticos inerentes ao processo.

A segunda refere-se ao fato de a metodologia de avaliação social não permitir ponderação nos pesos das diversas variáveis consideradas. Cada variável influenciará no resultado final conforme o valor monetário atribuído, o que nem sempre corresponde às necessidades do processo decisório.

A última limitação refere-se à não consideração da dinâmica do ambiente externo, na medida em que possíveis alterações nos cenários futuros não são analisados e portanto não alterarão os resultados obtidos.

Pomeranz (1992) cita dois motivos básicos para o questionamento da avaliação social de projetos, um de ordem prática e outro de ordem teórica. No questionamento teórico considera que a racionalidade econômica, nos termos em que é definida, não é suficiente para fundamentar os complexos aspectos do processo social de tomada de decisões. A racionalidade econômica é somente um destes aspectos.

O segundo, de ordem prática, parte da constatação de que a metodologia de avaliação social não é utilizada, por dificuldades de entendimento ou de operacionalização, devido à falta de informações ou preparo técnico. Observa, ainda, que na prática corrente de avaliação de projetos, principalmente para atender à exigências de agências internacionais, o que se utiliza é um arremedo metodológico que pouco tem a ver com a base teórica da metodologia proposta.

Tsamboulas et ali (1999) classifica os métodos de avaliação em transportes em dois grandes grupos: os de critério único ou de enfoque monetário e os métodos multicriteriais ou de enfoque não monetário. Avalia que os métodos de enfoque monetário, tradicionalmente utilizados na avaliação de projetos de transportes,

apresentam limitações quanto à incorporação de variáveis de difícil quantificação e aponta o desenvolvimento, nos últimos anos, de diversas metodologias multicriteriais com potencial para superar as limitações da análise Benefício Custo (B/C).

Vários esforços têm sido realizados no sentido de buscar metodologias alternativas ou complementares à avaliação social de projetos. Como exemplo, pode-se citar a incorporação de variáveis não quantitativas através da análise de custo efetividade (Stopher and Meyburg, 1976), ou a incorporação de ponderação de pesos para as variáveis consideradas na análise Benefício Custo (Ehrlich, 1986), e principalmente, pelos diversos métodos de análise multicriterial de apoio à decisão.

Gomes (1993) cita uma série de propriedades da análise multicriterial:

- Fácil compreensão pelos executivos, profissionais técnicos de transportes, representantes da sociedade e comunidade;
- Transparência;
- Uso simultâneo de critérios de decisão tangíveis e intangíveis;
- Emprego de escalas cardinais, verbais ou ordinais, na avaliação;
- Consideração eventual de alternativas interdependentes, bem como de interdependências entre os critérios de decisão;
- Possibilidade de se utilizar julgamentos de valor formulados de forma pouco precisa ou, simplesmente, vaga;
- Adequação à tomada de decisão em grupo, particularmente através de recursos computacionais gráficos.

A análise multicriterial tem se mostrado um poderoso instrumento na avaliação de projetos, mas ainda pouco utilizado no Brasil.

A bibliografia consultada trata da avaliação multicriterial como metodologia complementar à avaliação social de projetos. No entanto, os estudos pouco discutem as formas de como trabalhar com as duas metodologias em conjunto. Este será, exatamente, o objetivo deste trabalho.

2 Objetivos

O objetivo desta dissertação é discutir a avaliação de projetos de transportes através da utilização de dois métodos distintos aplicáveis ao problema: a tradicional avaliação social de projetos e a análise multicriterial através da utilização do método de análise hierárquica (AHP). A hipótese inicial foi que a utilização das duas metodologias, em conjunto, poderia produzir resultados mais consistentes na avaliação de projetos em relação à abrangência da análise, uma vez que a avaliação social de projetos garante, além do ordenamento das melhores alternativas, uma análise econômica de cada uma delas e a análise multicriterial permite a incorporação de variáveis de difícil quantificação no processo de avaliação do projeto.

Para a validação do procedimento proposto foi realizado um estudo de caso através da avaliação de alternativas de projeto geradas durante a elaboração do plano diretor de transporte coletivo da cidade de Porto Alegre.

3 Avaliação de projetos de transportes

A avaliação de projetos tem o objetivo de examinar o desempenho das alternativas apresentadas, quando da sua implantação e funcionamento, tanto em relação ao próprio sistema a que pertencem como em relação aos demais sistemas com os quais elas interagem. A avaliação das alternativas permite, ainda, escaloná-las segundo uma ordem de prioridades para a realização de investimentos, determinando quais projetos deverão ser prioritariamente executados (Melo, 1986).

A avaliação de projetos de transportes, em muitos casos, pode tornar-se uma tarefa complexa em função dos relacionamentos dos sistemas de transportes com a estrutura econômica, social e o meio ambiente da região do estudo. No caso do transporte urbano, objeto deste trabalho, deve-se salientar a inter-relação do transporte com a dinâmica da cidade, que influencia diretamente na qualidade de vida da população.

A avaliação de projetos de transportes deve ter uma abordagem ampla que busque o entendimento de todos os aspectos econômicos, sociais e ambientais influenciados pelo sistema de transporte em estudo. Devem ser considerados os impactos positivos e os negativos causados pelas alternativas de projeto em estudo.

4 Avaliação social de projetos

A avaliação de um projeto pode ser realizada sob o ponto de vista de vários atores interessados direta ou indiretamente no mesmo, tais como: o empresário empreendedor, o banco ou agências de financiamento, o governo em cada uma de suas esferas, as outras empresas beneficiadas ou prejudicadas pelo projeto, etc.

O enfoque é dito social quando avaliamos o projeto sob o ponto de vista da sociedade como um todo. Para tal, é necessário, primeiro, ignorar as fronteiras particulares de interesses de indivíduos, famílias, empresas e regiões dentro da nação. Em segundo lugar cabe eliminar as transferências entre indivíduos, tais como os impostos e subsídios. Deve-se, finalmente, incorporar os efeitos indiretos do projeto em outras atividades e pessoas (Contador, 1997).

O governo, que deve estar preocupado com o ponto de vista da sociedade, deve avaliar os projetos também do ponto de vista privado para ter mais elementos para definir sua política de atuação.

Cabe ressaltar que o projeto pode ser vantajoso do ponto de vista privado e desfavorável para a sociedade como um todo, ou o contrário. Considerando a atratividade privada como o ponto de vista do empresário empreendedor e o interesse da sociedade sendo representado pelo ponto de vista social temos quatro possibilidades de situações (Contador, 1997):

Situação 1: o projeto é viável do ponto de vista social e do ponto de vista privado. Neste caso o empreendedor tem todo o interesse em executar o projeto, não havendo necessidade de intervenção governamental.

Situação 2: o projeto é viável do ponto de vista social e não é atrativo do ponto de vista privado. Neste caso, o empresário privado não tem interesse em executar o projeto e o governo deve decidir quais as maneiras que dispõe para viabilizar o projeto, tais como subsídio ou isenção fiscal.

Situação 3: o projeto é inviável do ponto de vista social e atrativo do ponto de vista privado. Este é o caso de um empreendimento que é atrativo para o setor privado mas traz problemas para a sociedade como poluição por exemplo. Neste caso, o governo deve avaliar se a perda social é aceitável, em função do desenvolvimento proporcionado, ou se é o caso de desestimular o empreendimento através de política tributária, creditícia ou reforço nas normas reguladoras da poluição.

Situação 4: o projeto é inviável do ponto de vista social e do ponto de vista privado. Neste caso não interessa para ninguém que o projeto seja implantado.

Segundo Buarque (1991), a metodologia utilizada inicialmente pelos organismos públicos foi a mesma utilizada pelos financiadores privados, o cálculo da rentabilidade financeira esperada do projeto. Entretanto, percebeu-se que a análise da rentabilidade não justifica inteiramente o financiamento público. Primeiro, porque o financiamento público deve considerar certos objetivos sociais que não interessam aos financiadores privados. Em segundo lugar, se o projeto possui boa rentabilidade esperada, o empreendedor pode conseguir financiamento no setor privado.

Dessa forma a avaliação feita pelo Poder Público começou a diferenciar-se da avaliação exclusivamente privada. Sem desconsiderar a análise da rentabilidade do projeto, a avaliação pública passou a considerar os efeitos do projeto sobre:

- emprego da mão de obra;
- emprego de recursos naturais nacionais;
- a poupança de divisas.

A principal diferenciação da avaliação privada e social está na metodologia da quantificação dos Custos e Benefícios sociais do projeto, através da determinação dos preços sociais dos bens, fatores e serviços.

Segundo Pomeranz (1988), na prática da atividade de elaboração e análise de projetos, ambos os critérios se confundem, privilegiando o critério privado, de um lado, pelas dificuldades e pela complexidade que a avaliação social envolve, e de um outro lado, pelo fato que em ambos os critérios, os projetos alternativos são concebidos da mesma forma, através de estudos de dimensionamento e técnico econômicos, e são submetidos a uma análise econômica quantitativa formalmente idêntica do ponto de vista metodológico.

Em ambos os casos são considerados dois fluxos: o de receitas (benefícios) e o de despesas (custos). A forma de estimação destes fluxos é que deve ser adequada ao tipo de avaliação que se está fazendo. Na avaliação privada os fluxos são estimados a partir dos preços de mercado, nas condições em que ele funciona. Na avaliação social a estimação é feita a partir de preços sociais que refletiriam melhor a escassez relativa dos fatores (Pomeranz, 1988).

Segundo Contador (1997), a preocupação com a divergência entre preços de mercado e sociais e sua importância para a avaliação de projetos pode ser considerada recente e aponta a Cepal como tendo um papel pioneiro na percepção do problema. No final da década de 50 a Cepal argumentava que o preço de mercado representava o preço social de bens e serviços apenas se a economia funcionasse em regime de concorrência perfeita. Caso isto não ocorresse os preços de mercado não corresponderiam mais aos valores dos bens e serviços para a sociedade no seu conjunto.

Outras publicações, da própria ONU, e de outras instituições e organismos de financiamento, viriam enfatizar a necessidade de corrigir os preços de mercado, como uma forma de evitar a má alocação de fatores e o desperdício. Mais recentemente o

Banco Mundial (BIRD) e o Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID) sugeriram mesmo que objetivos da política econômica, tais como a geração de empregos e a distribuição mais eqüitativa da renda, sejam introduzidos explicitamente como critérios na avaliação de projetos (Contador, 1997).

Para um melhor entendimento “preços de mercado” são, por definição, aqueles observados no cotidiano, sejam eles bens e serviços finais ou insumos. “Preços sociais” não são observáveis a não ser que se operasse em regime de concorrência perfeita. Os preços sociais refletem os custos de oportunidade para a economia como um todo.

Como os preços sociais não são observáveis é necessária a definição de uma metodologia para o seu cálculo. Das diversas metodologias disponíveis para o cálculo dos preços sociais as mais conhecidas são as de Dasgupta, Sen e Marglin (adotada pela UNIDO), a de Little e Mirrless (Banco Mundial e OCDE), e a de Harberger, conhecida como o enfoque da Universidade de Chicago (Contador, 1997).

Pode-se dizer que as metodologias proporcionam resultados parecidos. Todas elas consideram simplificações da metodologia originada da teoria do bem estar buscando torná-la mais operacional.

4.1 Bases Teóricas da Avaliação Social de Projetos

A Avaliação Social de Projetos ou análise Benefício Custo Social tem seus fundamentos na teoria do bem estar. Mishan (1975) apresenta três premissas éticas dessa teoria:

- O bem estar do indivíduo é o que conta. Nenhuma abstração como o bem estar geral ou alguma entidade como estado deve interferir no bem estar dos indivíduos, que compõem a sociedade.
- A avaliação da mudança no bem estar de cada indivíduo deve ser avaliada pelo próprio indivíduo.

- O critério para julgar estas mudanças, do ponto de vista social, é a melhoria de Pareto, que se define como a situação resultante onde pelo menos um indivíduo fica melhor sem que nenhum outro piore. Como esta condição, na realidade é quase inatingível, troca-se o critério para uma situação onde o indivíduo que melhora tem condições de compensar aquele que piorou e, ainda assim, ficar em situação melhor.

Os axiomas desta teoria estão baseados na teoria do equilíbrio a qual define as condições necessárias para a aplicação do critério paretiano.

Segundo esta teoria, dados os preços de mercado e o nível de renda do indivíduo, este selecionará um conjunto de bens que maximize o seu bem estar (ou utilidade), e isto ocorrerá quando a taxa marginal de substituição entre estes conjuntos de bens for igual à relação entre seus preços. Do mesmo modo, em concorrência perfeita, dada a tecnologia de produção e os preços de mercado os produtores ofertarão uma quantidade de produtos até que o custo marginal seja igual ao preço de mercado.

O mesmo raciocínio vale para os fatores de produção, para a oferta e a demanda de trabalho e para a oferta e a demanda por capitais. Os mecanismos de mercado estabelecem então os preços que permitem equilibrar a oferta e demanda de bens, por um lado, e a oferta e a demanda de fatores de produção, por outro.

Nesta situação de concorrência perfeita a alocação de recursos processa-se de forma ótima, em consonância com o ótimo de Pareto. Para a garantia da existência de concorrência perfeita são necessárias algumas condições relativas ao comportamento do consumidor e do processo produtivo.

O comportamento do indivíduo é configurado como o do “homem econômico racional” que prefere sempre uma maior quantidade de bens à uma menor e suas preferências são sempre consistentes e transitivas. Pressupõe-se, ainda, que os gostos dos consumidores permanecem imutáveis e que os mesmos possuem suficiente

conhecimento do mercado e perfeita capacidade de previsão.

Quanto ao processo produtivo pressupõe-se pleno emprego, perfeita mobilidade dos fatores, diferentes proporções de fatores alocados à produção de bens diferentes e escala de produção tal que nenhum produtor isolado possa exercer influência sobre o preço de mercado ou sobre os fatores.

Os produtores podem transferir-se para outros setores sem barreiras. Os custos incorporam uma margem de retorno considerada normal para a economia e o lucro é o que excede esta margem. Assim os produtores tendem a transferir-se para os setores com lucro maior. Isto altera as condições de oferta levando à eliminação do lucro excedente. Assim, em um regime de livre concorrência, portanto em equilíbrio, os preços são iguais aos custos marginais, o que leva a definir como critério para se conseguir a eficiência alocativa segundo o critério Paretiano que os preços sejam iguais aos custos marginais.

Outras limitações na utilização do mercado como instrumento para buscar eficiência alocativa precisam ser explicitadas.

Há uma diferença entre os preços correntes no mercado e os valores dos custos sociais. Admite-se que o preço pago pelo consumidor é o que ele está disposto a pagar por uma determinada quantidade do bem que está adquirindo e que este preço não reflete o valor ou utilidade que ele estaria disposto a pagar por unidades adicionais do mesmo bem. O valor social é definido, então, como a soma máxima que o indivíduo está disposto a pagar por este particular bem, ou pela eliminação de um particular prejuízo e constitui, assim, medida mais precisa de seu bem estar.

Desta definição surge o conceito do excedente do consumidor, tido como um benefício obtido pelo consumidor estimado pela diferença entre o preço que ele está disposto a pagar por um determinado bem e o preço que ele paga efetivamente. No caso de projetos de transporte este benefício corresponderia à diferença nos preços (custos de

transporte para o usuário) resultante do aumento e melhoria da oferta do mesmo (Pomeranz, 1988).

Da mesma forma o custo social difere dos custos expressos pelos preços de mercado, conforme se apresenta para o empreendedor privado. O custo social é um custo de oportunidade para a economia como um todo e se define como o valor social que se deixa de realizar quando se opta pela utilização dos recursos anteriormente utilizados na produção deste valor na produção de bens de um projeto alternativo.

O custo social de oportunidade, assim definido, encontra sua expressão no chamado preço contábil ou preço sombra, que é justamente o preço que em equilíbrio, no regime de concorrência perfeita, iguala a oferta e a demanda. Uma distorção no mercado significa que os seus preços não refletem os custos relativos dos fatores e requer uma estimação de preços contábeis que os reflitam (Pomeranz, 1988).

Uma outra questão a se abordar é a relacionada às chamadas externalidades, ou seja, são aqueles efeitos que resultam dos projetos mas que não são abarcados pelo mercado, isto é, escapam dos mecanismos do sistema de preços.

A introdução deste conceito é importante porque escapando ao sistema de mercado os efeitos externos tornam insuficiente a condição de concorrência perfeita para a obtenção de uma alocação eficiente de recursos no sentido paretiano.

Pode-se dizer que as externalidades são resultantes da insuficiente definição dos direitos de propriedade. Como exemplo, a insuficiente definição de propriedade sobre os cursos das águas leva os seus usuários, como uma empresa industrial, a utilizarem-no livremente para o lançamento de efluentes poluidores, sem serem cobrados pelo custo social decorrente desta utilização. Este custo social é a expressão de um efeito negativo não valorizado através do mercado, ou seja, de uma externalidade negativa que resulta da inexistência de definição de direitos de propriedade sobre os cursos das águas. Se houvesse esta definição seria possível a cobrança de uma compensação

pelo efeito negativo causado (Pomeranz, 1988).

4.2 Métodos quantitativos para avaliação e seleção de projetos

Existe uma vasta bibliografia sobre os métodos quantitativos para avaliação de projetos. Neste capítulo é feita uma revisão dos principais métodos bem como uma discussão sobre a utilização de cada um deles.

Os métodos, em geral, buscam a definição de indicadores que relacionem os benefícios e os custos do projeto de maneira que seja possível a comparação entre as alternativas.

Antes da apresentação dos métodos faz-se necessária a discussão de alguns conceitos básicos comuns aos métodos quantitativos de avaliação de projetos.

4.2.1 Custo de oportunidade.

Custo de oportunidade é definido, genericamente, como o valor de um determinado bem em um emprego alternativo. Para um estudo de avaliação econômica deixar de ganhar é o mesmo que pagar. Mishan (1975) atenta para uma possível ambigüidade existente nesta definição comum, na medida em que pode haver mais de um uso alternativo. Sugere, então, que a definição deva especificar o uso alternativo que corresponda ao maior valor, ou então, que o uso alternativo seja definido pelo problema em questão.

Na avaliação de projetos consideram-se sempre as duas possibilidades básicas: de implementação da alternativa ou de não implementação. Para a consideração do custo de oportunidade é importante a análise dos usos alternativos para os recursos no caso da não implementação das alternativas em análise.

4.2.2 A variável tempo

Na avaliação econômica de projetos trabalha-se com a análise de fluxos de custos e benefícios distribuídos ao longo do tempo. Para que seja possível a operação com os valores de custos e benefícios faz-se necessário que estes valores sejam levados ou convertidos para uma mesma data. Significa dizer que o valor do dinheiro varia de acordo com o tempo onde a operação é realizada (não se está considerando a existência de inflação).

A forma de transferir um valor de uma data para outra é a utilização da regra dos juros compostos dada pela fórmula:

$$Vf = Va.(1 + i) \quad (4.1)$$

onde: Vf é o Valor futuro
 Va é o Valor atual
 i é a taxa de desconto no período.

A taxa de desconto i pode corresponder a um custo de oportunidade, a uma taxa de juros ou, simplesmente à preferência pelo tempo de um indivíduo (Ehrlich, 1986).

A definição de qual taxa de desconto utilizar não é tarefa simples e é ao mesmo tempo um elemento fundamental na avaliação das alternativas.

4.2.3 Classificação dos métodos quantitativos

Penteado (1973) classifica os métodos quantitativos em dois grandes grupos.

a) aqueles que não levam em consideração a variação que o capital sofre com o tempo, dos quais os mais utilizados são:

- a1) método do tempo de recuperação do capital investido.
- a2) método da razão receita / custo.

a3) método da razão receita-média / custo.

b) aqueles em que é levada em conta a variação que o capital sofre com o tempo, dos quais os mais utilizados são:

b1) método do valor atual líquido.

b2) método da taxa interna de retorno.

b3) método da razão benefício / custo.

Pomeranz (1988) apresenta a mesma classificação e cita no primeiro caso, dos que não levam em conta a variação do capital no tempo, como sendo o mais utilizado, o método do tempo de retorno do capital investido (payback period).

No segundo grupo, que consideram a variação do capital no tempo, cita como mais utilizados os seguintes métodos:

Método do valor atual.

Método da razão benefício / custo (B/C).

Método da taxa interna de retorno.

Cita, ainda, algumas variações destes:

Método do mínimo custo.

Método do custo (ou benefício) líquido periódico equivalente e

Método da taxa de retorno do investimento incremental

A consideração da variação do capital com o tempo significa atribuir um custo de oportunidade durante o período do projeto.

Pomeranz (1988) afirma que a não consideração desta variação distorce as comparações entre diferentes projetos por atribuir o mesmo peso para fluxos de caixa

temporalmente distintos. Afirmar, ainda, que na avaliação de projetos de investimento os métodos utilizados devem ser os que consideram a variação do capital com o tempo.

4.2.4 Descrição dos métodos quantitativos.

a) Método do valor atual (ou valor presente líquido)

Uma das maneiras de comparar várias alternativas de projeto é fazer a comparação entre o somatório das receitas e despesas (ou benefícios e custos). Para que seja possível o somatório é necessário que os valores sejam levados para uma mesma data, o que é feito considerando o regime de juros compostos. É necessário, para isto, a escolha de uma taxa de juros r . Os critérios para a escolha desta taxa serão discutidos mais tarde.

O critério do Valor Presente Líquido (VPL) propõe a comparação do somatório dos fluxos (custos e benefícios) atualizados para a data atual. Na verdade este critério é um caso particular onde o caso geral é a comparação dos fluxos em qualquer data.

Apresenta-se inicialmente a formulação geral:

Pode-se representar $VPL = f(r, T)$

$$VPL = \sum_{t=0}^N B_t (1+r)^{T-t} - \sum_{t=0}^N C_t (1+r)^{T-t} \quad (4.2)$$

onde

- B é o somatório dos benefícios no tempo t
- C é a soma dos custos no tempo t
- r é a taxa de juros definida
- T é o tempo no qual será feita a comparação.
- N é o número de unidades de tempo do projeto

Para o caso de $T = 0$, ou seja, todos os valores sendo levados para a data 0, temos a formulação particular do Valor Presente Líquido.

$$VPL = \sum_{t=0}^N B_t(1+r)^{-t} - \sum_{t=0}^N C_t(1+r)^{-t} \quad (4.3)$$

Um VPL positivo indica que os benefícios líquidos do projeto são maiores que os custos, portanto, viável economicamente. No entanto, a principal utilização do VPL é a comparação entre as alternativas em análise. A alternativa que apresentar o maior VPL será mais bem classificada.

b) Método da razão benefício / custo (B/C)

O método da razão Benefício Custo (B/C) segue a mesma lógica do método do Valor Presente Líquido, ou seja, a comparação dos fluxos na data zero, só que do quociente entre receitas (benefícios) e despesas (custos) e não mais o saldo, como no caso anterior.

$$\text{Assim: } B/C = \frac{\sum_{t=0}^N B(1+r)^{-t}}{\sum_{t=0}^N C(1+r)^{-t}} \quad (4.4)$$

onde

- B é a soma dos benefícios no tempo t
- C é a soma dos custos no tempo t
- r é a taxa de juros definida
- N é o número de unidades de tempo do projeto

Um B/C maior que a unidade indica que os benefícios líquidos do projeto são maiores que os custos, portanto, viável economicamente. Também neste caso, a principal utilização é a comparação entre as alternativas em análise. A alternativa que apresentar o maior B/C será mais bem classificada.

c) Método da Taxa Interna de Retorno

A Taxa Interna de Retorno (ou Taxa de Retorno Intrínseca) é definida como a taxa de juros que resulta em um VPL igual a zero.

Assim $TIR = r^*$ tal que

$$VPL = \sum_{t=0}^N B_t(1+r^*)^{-t} - \sum_{t=0}^N C_t(1+r^*)^{-t} = 0 \quad (4.5)$$

B é a soma dos benefícios no tempo t

C é a soma dos custos no tempo t

N é o número de unidades de tempo do projeto

A TIR é taxa de juros na qual os benefícios líquidos se igualam aos custos de investimento e operação do projeto. Pode-se afirmar, então, que o projeto é economicamente viável se a TIR for maior ou igual a r , a taxa de desconto de referência.

Para a comparação entre as alternativas de projeto será considerada melhor a alternativa que apresentar a maior TIR.

Com relação ao cálculo da TIR este não é tão simples como nos métodos anteriores. A taxa r^* é determinada através da solução do polinômio de grau t, geralmente um número elevado. Como exemplo de método de solução pode-se citar a técnica iterativa utilizada pelo "Microsoft Excel" onde, começando por uma estimativa dada pelo analista, refaz o cálculo até o resultado ter uma precisão de 0,00001 por cento.

Ehrlich (1986) aponta alguns problemas para determinação da Taxa Interna de Retorno. A TIR é o valor correspondente ao zero de um polinômio. Um polinômio de grau t poderia ter, a princípio, t raízes diferentes. Devido a estes complicadores faz-se necessária uma análise cuidadosa dos resultados obtidos e de sua aplicabilidade.

d) Método do mínimo custo

O método do mínimo custo é uma variação do método do Benefício Custo e é utilizado quando as alternativas possuem benefícios idênticos. Uma situação possível é aquela onde os objetivos a serem alcançados com o projeto são definidos e há várias

alternativas de configuração física e de custos por consequência. Assim, a melhor alternativa será aquela de menor custo (Pomeranz, 1988).

$$\sum_{t=0}^N C_t (1+r)^{-t} \quad (4.6)$$

C é a soma dos custos no tempo t

r é a taxa de juros definida

N é o número de unidades de tempo do projeto

e) Método do custo (benefício líquido) periódico equivalente

O método do custo (benefício líquido) periódico equivalente é uma variante do método do custo mínimo utilizado principalmente quando se está comparando alternativas de projetos com horizontes de tempo diferentes.

O Método do custo (benefício líquido) periódico equivalente estima o custo de cada uma das alternativas em uma mesma unidade de tempo que os torna comparáveis. Admite-se aqui que os benefícios sejam idênticos para as diversas alternativas.

O custo (benefício líquido) periódico equivalente é dado por:

$$CPE = I_A \frac{r(1+r)^N}{(1+r)^N - 1} \quad (4.7)$$

onde I é o investimento atualizado a taxa de desconto r

N é o número de unidades de tempo do projeto

Será considerada a melhor alternativa aquela que apresentar menor custo periódico equivalente.

Outra maneira de abordar o problema de análise de projetos com horizontes de tempo diferentes é a extensão do horizonte de tempo para um mínimo múltiplo comum de tempo dos projetos considerados

f) Método do tempo de retorno do investimento (pay-back period)

Dentre os métodos que não consideram a variação do capital com o tempo o mais utilizado é o Método de Tempo de Retorno do investimento. Consiste na determinação do tempo necessário para a recuperação total do capital investido.

No caso mais simples onde as receitas são constantes temos:

$$T = -\frac{I}{R} \quad (4.8)$$

Onde: T é o tempo de retorno do capital investido
I é o investimento inicial (tem sinal negativo por trata-se de um custo)
R é a receita constante

No caso mais geral, onde as receitas não são constantes, temos:

Considerando m a parte inteira de T calcula-se o somatório das receitas até que:

$$\sum_{i=1}^m R_i \leq -I \quad (4.9)$$

Se o somatório das receitas for igual ao investimento inicial temos $T = m$. Caso contrário a parte fracionária de T será calculada admitindo-se que a receita a ser verificada na época m+1 seja crescente linearmente, a partir de zero, entre as épocas m e m+1. Representando-se por f a parte fracionária tem-se (Penteado, 1973).

$$f = \frac{I + \sum_{i=1}^m R_i}{R_{m+1}} \quad (4.10)$$

Por este critério será considerada a melhor alternativa a que proporcionar menor tempo de retorno do investimento.

4.2.5 Discussão sobre os métodos quantitativos de avaliação econômica

Todos os métodos apresentados têm consistência e podem ser utilizados como indicadores de desempenho de cada alternativa de projeto. Cada um deles tem características específicas e deve ser utilizado de acordo com o tipo de problema a ser analisado. Algumas destas características são abordadas a seguir.

a) Valor Presente Líquido (VPL) e a Taxa Interna de Retorno (TIR)

O principal problema da utilização do VPL é a definição inicial da taxa de juros a ser utilizada. A chamada taxa relevante de desconto deve ser representativa do custo social do capital. Esta determinação não é tarefa fácil e pode representar um problema na medida em que taxas de juros diferentes podem levar a resultados diferentes na ordenação das alternativas de projeto (Penteado, 1973).

Neste aspecto a utilização da Taxa Interna de Retorno parece resolver este problema na medida em que não necessita da definição, anterior, de uma taxa de juros. Para o ordenamento das alternativas realmente a utilização da Taxa Interna de Retorno resolve o problema, no entanto, para a avaliação da viabilidade econômica dos projetos faz-se necessário a comparação da TIR com uma taxa relevante de descontos, voltando ao problema inicial.

Um outro problema para a utilização da TIR é a não consideração das escalas das alternativas. Assim, no caso de alternativas mutuamente exclusivas, se há disponibilidade de recursos e a alternativa com maior TIR não utiliza todo o recurso disponível, faz-se necessário analisar a chamada TIR incremental para aferir se esta é maior ou menor que a taxa relevante de desconto. Caso seja maior, a alternativa de maior TIR pode não ser a mais viável economicamente. Neste caso, a análise do Valor Presente Líquido produz melhor resultado, na medida em que reflete a diferença de escala das alternativas.

b) Valor Presente Líquido e Relação Benefício / Custo

O Método da Relação Benefício / Custo tem características semelhantes ao Valor Presente Líquido. Assim como o VPL o B/C também pressupõe a adoção de uma taxa relevante de desconto para o seu cálculo. Para uma mesma alternativa temos que:

Se $VPL > 0$ então $B/C > 1$

Outro aspecto deste método é que assim como a Taxa Interna de Retorno a Relação Benefício /Custo também não reflete possíveis diferenças de escala das alternativas. Este aspecto deve sempre ser analisado em conjunto com a disponibilidade de recursos, a taxa relevante de desconto e a independência das alternativas, isto é, se são mutuamente exclusivas. Também neste caso o VPL proporciona resultados mais seguros, na medida em que reflete a diferença de escala das alternativas.

c) Avaliação de projetos com horizontes de tempo diferentes

De maneira geral só tem sentido comparar alternativas de projeto que apresentem mesmo horizonte de tempo de projeto. Nos casos onde isto não ocorra é necessário algumas adaptações antes de proceder a análise.

Como já foi visto no item 4.2.4 (e) uma maneira de tratar estes casos é com o Método do Custo Periódico Equivalente, onde é estimado o custo de cada uma das alternativas em uma mesma unidade de tempo que os torna comparáveis.

Na análise do Valor Presente Líquido pode-se proceder a extensão do horizonte de tempo para um mínimo múltiplo comum de tempo dos projetos considerados.

No caso da Taxa Interna de Retorno não é preciso este artifício. Fica, no entanto, implícita a hipótese de poder repetir-se cada alternativa em condições idênticas ao longo de um número de períodos igual a um múltiplo comum. Caso contrário o projeto mais longo continuaria rendendo conforme inicialmente definido enquanto que os mais

curtos teriam sido substituídos na medida que fossem terminando (Ehrlich, 1986).

4.2.6 Conclusões preliminares

Os vários métodos apresentados mostram ser úteis para a avaliação de projetos devendo ser utilizados de acordo com as características da situação em análise. Deve-se proceder a análise de maneira mais abrangente possível, sendo na maioria das vezes, aconselhável a utilização de vários dos métodos apresentados para se obter segurança na decisão.

4.2.7 Análise de sensibilidade

Na definição dos parâmetros para avaliação das alternativas de projeto existem incertezas intrínsecas à sua estimação, ou seja, as estimativas estão sujeitas a eventuais erros. A análise de sensibilidade busca definir quais são os parâmetros aos quais o resultado é mais sensível à mudanças.

Tomando como exemplo o cálculo do valor presente líquido:

$$VPL = \sum_{t=0}^N B_t (1+r)^{T-t} - \sum_{t=0}^N C_t (1+r)^{T-t} \quad (4.2)$$

Observa-se que o resultado depende das receitas (Benefícios), das despesas (Custos) e da taxa de juros r . Como exemplo podemos testar qual a sensibilidade do resultado à uma queda de 10 % nas receitas devido a uma retração do mercado, ou um aumento de 5 % nos custos devido a gastos não previstos. Ou ainda, pode-se calcular o resultado de VPL para uma série de valores possíveis para r . De maneira geral, na análise de sensibilidade varia-se um ou mais parâmetros e faz-se a análise dos resultados.

4.3 Metodologias para avaliação social de projetos

Os procedimentos para a aplicação prática da teoria exposta são encontrados em vasta literatura, mas principalmente, nos manuais metodológicos de órgãos de assistência tais como UNIDO, OECD e Banco Mundial.

As metodologias consistem basicamente em indicar como mensurar os benefícios e custos sociais dos projetos alternativos sujeitos à avaliação, onde a diferença de enfoque está nos valores adotados para expressar estes benefícios e custos em termos sociais.

Como o objetivo central deste trabalho não é a discussão das metodologias de estimação dos valores de Benefícios e Custos sociais estas metodologias não serão apresentadas. Uma exposição detalhada destas metodologias encontra-se em Buarque (1991), Contador (1997), e Pomeranz (1986).

4.3.1 Estimação dos valores de Benefícios e Custos para projetos de transportes

A aplicação dos princípios teóricos da avaliação social, é na prática, de difícil efetivação. Como exemplo é apresentada a metodologia proposta por Rocha (1983) que é uma metodologia simplificada mas que busca dar conta das necessárias adaptações da base teórica para a avaliação social de projetos de transportes, particularmente projetos de infra-estrutura de transporte urbano. Como já foi visto, o caráter social da avaliação pressupõe a obtenção dos custos e benefícios para a sociedade como um todo.

A metodologia apresentada parte da definição que ela deva ser ajustada caso a caso e que as alternativas consideradas englobam os investimentos privados (como aquisição de frota de ônibus) e/ou públicos (como pavimentação de vias) num único empreendimento, sempre que o objetivo de ambos for comum.

A metodologia apresenta os ajustes necessários para a estimação dos custos e

benefícios do projeto.

a) Custo econômico

A apuração do custo econômico consiste na identificação dos elementos do custo financeiro e na análise de sua natureza, isto é, se ele significa ou não um custo à sociedade e a partir daí, na realização dos ajustes necessários para a quantificação monetária de seu valor econômico.

b) Impostos

Os impostos são custos financeiros do projeto que não devem ser considerados como custo econômico uma vez que eles não representam um custo real para a sociedade, e sim um mecanismo de circulação monetária interna, entre setores da economia.

c) Material importado

Todo recurso despendido na aquisição de elementos importados significa um dispêndio real para toda a sociedade igual ao valor efetivamente pago. Assim, todo o gasto com importações deverá ser totalmente agregado ao custo econômico do projeto. Somente os impostos de importação, que são pagos ao entrar no país, devem ser retirados.

d) Mais valor

O conceito do mais valor está ligado ao fato de que um processo produtivo agrega valor ao produto final produzido. Assim, o produto final tem mais valor do que a somatória dos custos dos elementos utilizados no processo produtivo, incluindo aí, o custo da própria força de trabalho.

Os elementos considerados no custo do projeto já trazem, em si, mais valor agregado nos respectivos processos produtivos. Percebe-se, então, um encadeamento de geração de valor em vários setores da economia, a partir da implantação do projeto.

Este encadeamento será tanto maior quanto maior o nível de industrialização e de tecnologia dos elementos considerados ou quanto maior for a relação capital / trabalho utilizada no processo produtivo.

A metodologia apresentada sugere taxas representativas de mais valor, a serem descontadas dos preços, para os diferentes tipos de insumos para o caso de projetos de transporte urbano. As taxas devem ser descontadas do preço líquido, ou seja, do preço menos tributação.

Obras civis: 10 a 12 % do preço líquido.

Materiais com maior nível de industrialização (trilhos, cabos elétricos, etc): 12 a 15 %.

Equipamentos (material rodante, sinalização, comunicação, etc): 20 a 25 %.

Comentários: Este conceito de mais valor não foi encontrado em outras referências bibliográficas, e as taxas apresentadas não foram devidamente justificadas. Assim, apesar do conceito de mais valor ter sido apresentado como exemplificação de metodologia para ajuste dos preços financeiros aos econômicos, ele não foi utilizado no estudo de caso realizado neste trabalho.

e) Benefícios econômicos

A metodologia proposta considera que os benefícios imediatos advindos da implementação de um projeto de transporte são: redução dos custos operacionais, redução no tempo de viagem, o aumento da capacidade e a ampliação dos níveis de conforto, segurança e confiabilidade.

A redução nos custos operacionais deve ser quantificada seguindo a apuração dos custos econômicos descrita anteriormente analisando as alternativas com e sem projeto.

Com relação ao consumo de combustível derivado de petróleo que, a princípio, deveria ser considerado na sua totalidade no custo econômico, faz-se necessário considerar, não o seu preço de mercado (fixado pela política de preço vigente), mas sim seu custo equivalente em petróleo. Como o diesel é o elemento que define o nível de importação de petróleo no Brasil, seu custo por litro deve ser igual a 3.3 litros de petróleo já que a fração de óleo diesel no refino de petróleo no País é de 30%.

A quantificação dos benefícios relativos ao tempo de viagem deve considerar a redução da viagem efetiva e do tempo de espera, geralmente estimado em 50 % do “headway”.

O aumento da capacidade de transporte está considerado implicitamente nos benefícios do custo operacional e tempo de viagem. As condições técnicas de conforto e segurança estão consideradas na estimativa do volume de usuários que utilizarão o sistema de transporte.

4.4 Limitações da avaliação econômica

A avaliação econômica de projetos, tal qual a teoria econômica define e como os manuais técnicos recomendam não é utilizada na prática ou o é de maneira muito simplificada. Um primeiro tipo de justificativa fica por conta da falta de recursos técnicos e, principalmente, base de informações necessárias, carências muito comuns nos governos dos países em desenvolvimento. Uma outra linha de análise leva à discussão do conteúdo desta teoria e da adequação do uso para o qual ela é recomendada.

Pomeranz (1992) indica dois tipos de críticas existentes à metodologia de avaliação social de projetos.

O primeiro é feito por estudiosos da teoria do bem estar, preocupados com a coerência interna desta teoria. Parte da análise dos pressupostos teóricos que servem como base para a avaliação social de projetos e, enxerga nestes, limitações sérias em relação à objetividade de seus conceitos e da aplicabilidade da metodologia. Considera que as

questões básicas estão longe de serem resolvidas, mas que estas limitações não são suficientes para a não recomendação desta metodologia, em particular para os países em desenvolvimento.

Em um segundo grupo estão os economistas com posição crítica à teoria neoclássica e que centram o seu ataque na incapacidade desta teoria de representar a realidade, e, por conseqüência, a inconsistência da metodologia que dela deriva para tratamento das políticas econômicas aplicáveis a esta realidade. As críticas dirigem-se também aos fundamentos filosóficos da teoria, o liberalismo, e às conseqüências políticas da adoção da metodologia recomendada para os países em desenvolvimento.

As críticas dirigem-se aos fundamentos da teoria do equilíbrio: à função de utilidade e ao princípio da soberania do consumidor que lhe é decorrente, e à função de produção conforme é configurada. A teoria do equilíbrio ignora o contexto histórico e social considerando a utilidade em abstrato, desvinculada do sistema de relações sociais em que são criadas as necessidades. Com relação à função de produção, as críticas referem-se à inconsistência teórica que resulta das tentativas de transplantar a racionalidade microeconômica, representada através das funções de utilidade dos indivíduos e das funções de produção das empresas individuais, para o âmbito macroeconômico.

Estes críticos concluem pela impossibilidade de utilização da racionalidade do sistema de preços de equilíbrio para configuração do ótimo econômico do ponto de vista social.

Ainda segundo Pomeranz (1992), em uma análise mais pragmática observa-se ao menos dois outros elementos que influenciam de maneira definitiva na avaliação e escolha de projetos. O primeiro diz respeito à capacidade dos governos de investimento e, no caso dos países em desenvolvimento, da relação com os órgãos de financiamento internacionais, nem sempre desvinculados dos interesses dos grandes produtores multinacionais de equipamento.

Um segundo elemento é político e se expressa pela chamada lógica político eleitoral, segundo a qual as definições em relação a projetos são balizadas pelas pressões de grupos detentores de tal capacidade. Não se trata apenas dos eleitores, mas sim de toda forma de grupos organizados, particularmente os grandes grupos empresariais que têm atuação notória no financiamento e apoio político eleitoral.

A existência destes elementos no processo de elaboração e seleção de projetos explica a situação muito comum que consiste na análise técnica de projetos apenas para ratificação de decisões tomadas anteriormente (Pomeranz, 1992).

O processo de avaliação e seleção de projetos se dá no bojo de um processo de decisão onde a racionalidade econômica ou a busca da eficiência é apenas uma das racionalidades que pautam a decisão e nem sempre é a mais importante.

Não será feito aqui um aprofundamento desta discussão. O objetivo desta breve explanação é o entendimento das limitações da avaliação social de projetos, nas suas bases teóricas, bem como apontar para a diversidade dos fatores que efetivamente influenciam no processo de tomada de decisão no âmbito dos governos, e como a análise econômica, apesar de ser um elemento importante, não é suficiente na busca de soluções que contemplem a dinâmica social no qual se insere a avaliação e escolha dos projetos.

4.5 Variáveis consideradas na avaliação de projetos de transportes

Para o objetivo deste trabalho, que é a análise da utilização conjunta da avaliação social de projetos e a análise multicriterial, é importante o entendimento de como se dá, na prática, a avaliação social de projetos. Um dos aspectos relevantes nesta análise é a escolha das variáveis consideradas na avaliação.

A prática comum da avaliação de projetos de transporte urbano, principalmente, na preparação de documentação para pedidos de financiamento em instituições

financeiras, considera apenas os benefícios advindos dos ganhos de tempo de viagem e nos custos operacionais. Para a determinação da viabilidade econômica do projeto basta que a soma dos benefícios, quantificados monetariamente, mostre-se superior ao volume dos recursos necessários para a implantação. Na seleção dos projetos os mesmos benefícios são considerados e os projetos são comparados através da utilização de indicadores, sendo os mais comuns a Taxa Interna de Retorno e o Valor Presente Líquido.

As metodologias recomendadas pelas instituições apresentam um elenco mais abrangente de variáveis, que no entanto são pouco utilizadas, principalmente pela dificuldade de quantificação monetária destes benefícios.

Fortes et ali (1993) apresenta uma comparação das metodologias recomendadas por uma série de instituições financiadoras de projetos.

Metodologia da EBTU

A metodologia preconizada pela EBTU em seu manual operacional estabelece os seguintes benefícios de um projeto:

- Ganhos de custo de operação, manutenção e conservação do sistema viário.
- Ganhos de custo de operação de veículo (ônibus, automóveis e caminhões).
- Ganhos de tempo de viagem de passageiros de ônibus e automóveis.
- Ganhos pela redução dos custos de acidentes.
- Redução de impactos ambientais.

Metodologia do Banco Mundial

Segundo a metodologia utilizada pelo Banco Mundial são considerados os seguintes benefícios:

- Ganhos de tempo de usuários de ônibus e automóveis.
- Ganhos de custo operacional para ônibus, autos e caminhões.
- Conforto, conveniência e segurança de usuários de autos e ônibus.
- Redução de impactos ambientais.

Metodologia do US Department of Transportation

O US DOT considera uma relação de variáveis para a avaliação de projetos das quais as mais significativas são:

- Ganhos de tempo de viagem para passageiros e cargas.
- Segurança para passageiros e cargas.
- Ganhos de nível de serviço.
- Ganhos de custo operacional para veículos.
- Redução dos níveis de poluição atmosférica e sonora.
- Ganhos de atividade econômica na área do projeto.
- Ganhos de acessibilidade e mudanças de padrões de uso do solo.
- Ganhos pela redução de consumo de energia.
- Ganhos financeiros e institucionais pela implantação do projeto.

Metodologia da AASHTO

Apresenta os benefícios que são considerados nos projetos de rodovias e vias urbanas de alta capacidade de tráfego dos quais os principais podem ser assim descritos:

- Ganhos de custo operacional de veículos.
- Ganhos de tempo de viagem de passageiros e cargas.
- Ganhos pela redução de acidentes.
- Ganhos de redução de tarifas.

Metodologia do TRRL:

A relação de benefícios considerados é bastante ampla pois incorpora os que afetam passageiros, operadores e governo.

- Ganhos de tempo de viagem para ocupantes de automóveis remanescentes no sistema
- Ganhos de tempo de viagem para ocupantes de automóveis transferidos para o Metrô.
- Ganhos de tempo de viagem de passageiros de ônibus remanescentes no sistema
- Ganhos de tempo de viagem de passageiros de ônibus transferidos para o Metrô.
- Ganhos de tempo de viagem gerados por causa do Metrô.
- Ganhos de custo operacional para veículos (ônibus, automóveis e caminhões).
- Ganhos para outros setores da economia.
- Outros ganhos ditos intangíveis como conforto, segurança e melhor nível de serviço.

Fortes et al, (1993) após análise das variáveis indicadas pelas diversas instituições, propõe uma nova relação que busca uma maior abrangência possível nos aspectos considerados para a avaliação.

- Ganhos de tempo de viagem para:
 - Tráfego direto
 - Tráfego gerado
 - Tráfego desviado
- Ganhos de custo operacional para:
 1. Tráfego direto
 - Tráfego gerado
 - Tráfego desviado
 2. Ônibus
 - Autos
 - Caminhões

- Ganhos de custo de conservação e manutenção do sistema viário.
- Ganhos pela redução de acidentes.
- Ganhos de conforto, conveniência e segurança.
- Redução de impactos ambientais.
- Ganhos de tempo de viagem por carga.
- Desenvolvimento de atividade econômica.
- Ganhos de acessibilidade.
- Ganhos pela modificação do uso do solo
- Redução do consumo de energia.
- Ganhos institucionais.
- Redução de tarifas

Conforme citado anteriormente, apesar das metodologias indicarem um grande número de variáveis para quantificar os benefícios gerados pela implantação de um projeto, na prática as avaliações costumam adotar unicamente os ganhos com a redução no tempo de viagem dos usuários e a redução no custo operacional do sistema.

Isto se deve, principalmente, à dificuldade de quantificação monetária das demais variáveis indicadas, e não à uma divergência sobre quais as variáveis mais coerentes para compor a avaliação econômica

5. Metodologias multicriteriais de avaliação de projetos

5.1 Introdução

No capítulo anterior foi apresentada e discutida a metodologia Benefício Custo, seu potencial e suas limitações. Como principal limitação foi abordada a dificuldade de incorporar variáveis de difícil mensuração econômica. Assim, as metodologias multicritério surgiram com o objetivo de incorporar outras variáveis, bem como possibilitar a abordagem dos problemas decisórios do ponto de vista de vários objetivos.

Na abordagem de problemas complexos a delimitação do problema analisado em relação ao resto do mundo é uma tarefa bastante difícil. A definição de quais parâmetros devem ser considerados e quais devem ficar de fora da análise têm influência direta na resolução do problema. Quanto maior a profundidade e extensão da abordagem maior a dificuldade para a obtenção da solução final. Por outro lado, uma abordagem superficial implica em rapidez e facilidade na obtenção das soluções, mas que podem não ter compromisso com a realidade. Assim, deve-se ter cuidado para não incorrer em um ou outro extremo.

A necessidade de uma abordagem multicriterial para resolução de problemas complexos surge do fato de existirem vários enfoques possíveis. No caso da análise de problemas de transporte é intuitivo perceber que a análise deve contemplar os aspectos econômicos, de segurança, relacionados ao meio ambiente, etc.

Um outro aspecto importante é que os procedimentos analíticos para tomada de decisão devem ser considerados como passos intermediários no processo decisório,

servindo como subsidio para os tomadores de decisão e jamais devem ser considerados como procedimentos que resultam em solução ótima acabada (Gomes, 1991).

5.2 Histórico

O campo da análise de decisões está entre os mais antigos da pesquisa operacional. Esta surgiu com o propósito de auxiliar a tomada de decisões militares durante a Segunda Guerra Mundial (Gomes, 1993).

Foram desenvolvidas, a partir daí, muitas ferramentas matemáticas de apoio à decisão. A principal característica destas técnicas é a formulação de uma função objetivo e a otimização desta função sujeita à uma série de restrições preestabelecidas (Rodrigues, 1995).

Na década de 60 foram publicados alguns trabalhos iniciais que utilizavam técnicas multicriteriais, mas foi a partir da década de 70 que proliferaram os esforços na definição de novas técnicas de auxílio à decisão que consideravam vários objetivos na análise dos problemas.

Rodrigues (1995) apresenta uma cronologia dos primeiros trabalhos de auxílio multicritério de onde foram retirados os mais significativos para a compreensão do desenvolvimento do assunto:

- Roy, em 1971, lançou as bases para a primeira metodologia efetivamente estruturada para a análise de alternativas com múltiplos objetivos, gerando a família de métodos ELECTRE (Elimination et Choix Traduissant la Realité).
- GODARD (1973), baseado nos conceitos do método ELECTRE, desenvolveu uma metodologia multicriterial aplicada especificamente aos problemas de transporte urbano.
- KEENEY e RAIFFA (1976) publicaram um livro-texto onde apresentaram o método

multicritério de decisão chamado MAUT – Multiattribute Utility Theory.

- GOMES (1976) desenvolveu as bases do método TODIM (Tomada de Decisão Interativa e Multicritério), aplicado à avaliações multicriteriais de alternativas de investimento em projetos de estradas em áreas florestais.
- SAATY (1977) publicou dois artigos referentes às bases conceituais do Método de Análise Hierárquica (AHP).
- SAATY (1981) publicou a primeira edição do livro "Analytic Hierarchy Process" consolidando seu método lançado alguns anos antes.
- GOICOECHEA, HANSEN e DUCKSTEIN (1982) publicaram, possivelmente, o mais completo livro-texto sobre o assunto.
- ROY e HUGONNARD (1982) desenvolveram a versão IV do método ELECTRE para a avaliação das alternativas de expansão do sistema do Metrô de Paris.

No Brasil destacam-se as publicações:

- CUNHA (1991) analisou o problema de decisão de investimento em sistemas rodoviários do ponto de vista da abordagem multicriterial utilizando o método PROMETHEE (Preference Ranking Organization Method).
- PIERRO e FABBRO (1991) desenvolveram um método para permitir a hierarquização das etapas de implantação de sistemas de priorização para ônibus na cidade de São Paulo, segundo uma série de elementos condicionantes ponderados, tanto qualitativos como quantitativos.

Destacam-se, ainda, outros três trabalhos nacionais.

- Mouette (1993) analisou o problema de escolha de uma alternativa de metrô na cidade de São Paulo utilizando o Método de Análise Hierárquica.
- Rodrigues (1995) desenvolveu uma metodologia dinâmica de apoio a decisão, através do uso combinado de uma técnica de geração e seleção de cenários e uma técnica de análise multicritério, no caso o Método de Análise Hierárquica.
- Morita (1998) fez uma revisão do Método de Análise Hierárquica pontuando

algumas deficiências do método e sugerindo alguns novos procedimentos.

5.3 Classificação dos métodos

Os métodos de análise multicriterial podem ser classificados sob diversos aspectos. Gomes (1993) divide os Métodos de Auxílio Multicriterial à Decisão em três grandes famílias:

- Abordagem da teoria da utilidade multiatributo,
- Abordagem dos métodos de subordinação e síntese e
- Métodos interativos ou de programação matemática multiobjetiva.

Considera as duas primeiras famílias como sendo métodos discretos, onde o número de alternativas é finito e explicitamente conhecido, e que podem ser distribuídos em duas escolas: a americana e a francesa. Na escola americana destacam-se o método Analytic Hierarchy Process (AHP), o Método da Utilidade Multiatributo e o método TODIN (desenvolvido na PUC-Rio). Na escola francesa destacam-se os métodos da família Electre e os métodos Oreste, Promethee e Melchior.

A terceira família, os métodos interativos, correspondem aos chamados métodos contínuos, onde as alternativas são infinitas e desconhecidas, e se baseiam no modelo de otimização multicriterial, por meio de uma função objetivo sujeita a um conjunto de restrições. Incluem-se nesta classificação os métodos baseados na programação matemática.

Lieberman (1991) apresenta uma classificação semelhante, mas explicitando as diferenças entre os dois grupos de métodos de auxílio multicritério à tomada de decisão:

Métodos de Programação Matemática Multiobjetivo:

- as restrições se apresentam matematicamente explícitas;
- as alternativas de solução são implícitas;
- em geral, as soluções constituem um conjunto contínuo.

Métodos de Análise de Decisão.

- as restrições são implícitas;
- as alternativas de solução são representadas explicitamente;
- as soluções constituem um conjunto discreto.

Rodrigues (1995) afirma que os Métodos de Análise de Decisão são mais apropriados para a análise de problemas de transportes. Assim, o ambiente no qual estão inseridas as questões ligadas à tomada de decisão em transporte, especialmente no que se refere ao processo de avaliação de planos, projetos e políticas públicas de longo prazo, tem características intimamente associadas aos Métodos de Análise de Decisão (DAM), a medida que as alternativas são sempre concretas e finitas, e as restrições estão implícitas na fase de pré-seleção do conjunto finito de alternativas plausíveis.

5.4 Escolha do AHP

Dentre os Métodos de Análise de Decisão o Método de Análise Hierárquica (AHP – Analytic Hierarchy Process) tem sido utilizado e discutido em larga escala, seja no campo de aplicações práticas, ou no meio acadêmico, onde por diversas vezes foi questionado e reafirmado.

Vargas (1990) apud Morita (1998) relaciona um conjunto de possibilidades de utilização do método e classifica-as conforme a área de aplicação.

- **Problema econômico / gerencial:**
 - Seleção de base de dados
 - Projeto
 - Finanças
 - Previsão macro-econômica
 - Marketing
 - Planejamento
 - Seleção de portfólio
 - Localização de planta/utilidade

- Previsão
- Alocação de recursos
- Decisões seqüenciais
- Política / estratégia
- Transporte
- Recursos hídricos

- **Problemas Políticos:**
 - Controle de armas nucleares
 - Conflitos e negociação
 - Candidatura
 - Cálculo de seguro
 - Jogos de guerra
 - Influência mundial

- **Problemas sociais:**
 - Comportamento competitivo
 - Educação
 - Ambientalismo
 - Saúde
 - Jurídico
 - Medicamentos
 - Dinâmica da população
 - Setor público

- **Problemas tecnológicos:**
 - Seleção de mercado
 - Seleção de portfólio
 - Transferência tecnológica

Para o objetivo deste trabalho, que é a proposição de um procedimento para avaliação de projetos de transportes, a escolha do Método de Análise Hierárquica justifica-se pelos seguintes aspectos:

- Permite a inclusão na análise de aspectos subjetivos ou de difícil mensuração econômica, o que resolve parte das limitações da análise benefício custo.
- Possibilita a incorporação do ponto de vista de vários agentes. O método pode ser utilizado por apenas uma pessoa, por um grupo de técnicos ou mesmo por grupos que tenham interesse no projeto podendo ser utilizado, inclusive, como ferramenta para o planejamento participativo.
- A representação do problema em uma hierarquia e a comparação paritária dos elementos torna a estrutura do método de fácil compreensão mesmo para pessoas sem experiência em análise multicriterial.
- O método tem grande aceitação acadêmica e empresarial tendo sido utilizado em inúmeros problemas de decisão.

5.5 O método de análise hierárquica (AHP)

O Método de Análise Hierárquica (AHP) é um procedimento multicritério de auxílio à tomada de decisão que agrupa atributos das alternativas em estudo segundo uma estrutura hierárquica. A descrição do método, apresentada a seguir foi baseada nos roteiros apresentados por Saaty (1991), Mouette (1993) e Rodrigues (1995).

O método procura reproduzir o processo natural de funcionamento da mente humana, à medida que busca o agrupamento dos diversos elementos que constituem uma situação complexa, segundo suas propriedades comuns.

O método se desenvolve em duas etapas. A primeira consiste na elaboração da

hierarquia e a segunda na avaliação da hierarquia, dos atributos e das diversas alternativas.

Através da repetição do processo de agrupamento dos elementos com propriedades comuns, os vários níveis do sistema são caracterizados, desde o mais baixo até o nível mais elevado, que muitas vezes pode ser identificado como o objetivo do processo decisório. Este processo define a estrutura hierárquica do sistema.

A avaliação da hierarquia consiste em se atribuir pesos aos elementos de cada nível hierárquico em relação aos elementos do nível abaixo. Constróem-se, assim, matrizes de comparações paritárias onde cada valor indica quanto um elemento domina o outro em relação ao critério que está sendo avaliado. Estas comparações podem ser consideradas como a característica central do Método de Análise Hierárquica (AHP).

Este processo tem a vantagem de focalizar exclusivamente dois objetos de cada vez, e como eles se relacionam entre si. O Método de Análise Hierárquica tem a característica de representar de forma bastante consistente os julgamentos qualitativos, os quais não podem ser avaliados segundo escalas numéricas precisas.

Entretanto, este tipo de medida não garante a consistência absoluta dos julgamentos, e o AHP procura avaliar o quão séria é a inconsistência do sistema através da determinação do autovalor máximo, o qual tem a característica de fornecer uma medida do desvio da consistência.

5.5.1 Hierarquias

Para a análise de uma estrutura complexa, com grande número de entidades e inter-relações múltiplas, é conveniente a divisão em subsistemas mais simples de forma a facilitar sua compreensão e manuseio.

Uma hierarquia é um tipo particular de sistema que é baseado no conceito de que os

elementos, que tenhamos identificado, podem ser agrupados em conjuntos distintos, de maneira que as entidades de um grupo influenciam as de apenas um outro grupo e são influenciadas pelas entidades de apenas um outro grupo (Saaty, 1991).

O AHP é baseado na teoria matemática das hierarquias e permite a avaliação do impacto de um nível sobre o nível adjacente superior através da composição das contribuições relativas (prioridades) de seus elementos naquele nível com respeito aos elementos do nível adjacente. Esta composição pode ser estendida para cima através de toda a estrutura hierárquica.

Uma hierarquia é composta pelos seguintes elementos:

- Níveis: agrupamento de elementos que possuem as mesmas características. Os vários níveis estabelecem a hierarquia através das prioridades existentes.
- Nós: são os elementos pertencentes aos diversos níveis da hierarquia e representam as características: atores, critérios, atributos, objetivos, alternativas, etc.
- Arcos: indicam as relações dos elementos de um nível com os de nível acima e/ou abaixo.

Saaty (1991) aponta as seguintes vantagens na utilização de hierarquia para a representação de um sistema.

A representação hierárquica de um sistema pode ser usada para descrever como as mudanças em prioridades nos níveis mais altos afetam a prioridade dos níveis mais baixos.

Elas dão grandes detalhes de informação sobre a estrutura e as funções de um sistema nos níveis mais baixos, permitindo uma visão geral de atores e de seus propósitos nos seus níveis mais altos

Os sistemas naturais montados hierarquicamente, isto é, através de construção modular e contagem final de módulos, desenvolvem-se muito mais eficientemente do que aqueles montados de um modo geral.

Elas são estáveis e flexíveis: estáveis porque pequenas modificações tem efeitos pequenos e flexíveis porque adições à uma hierarquia bem estruturada não perturbam o desempenho.

5.5.2 Estruturação da hierarquia

Não existe um conjunto de procedimentos rígidos para gerar objetivos, critérios e atividades para serem incluídos em uma hierarquia. A idéia central é a decomposição do sistema em estudo em subsistemas para facilitar a compreensão.

O conhecimento detalhado do problema a ser tratado é de fundamental importância para a montagem de uma boa hierarquia, ou seja, de uma hierarquia que represente eficientemente o problema real em estudo. A importância desta fase do trabalho está no fato de que a qualidade dos resultados, obtidos ao final do processo, depende da hierarquia representar eficientemente a realidade estudada.

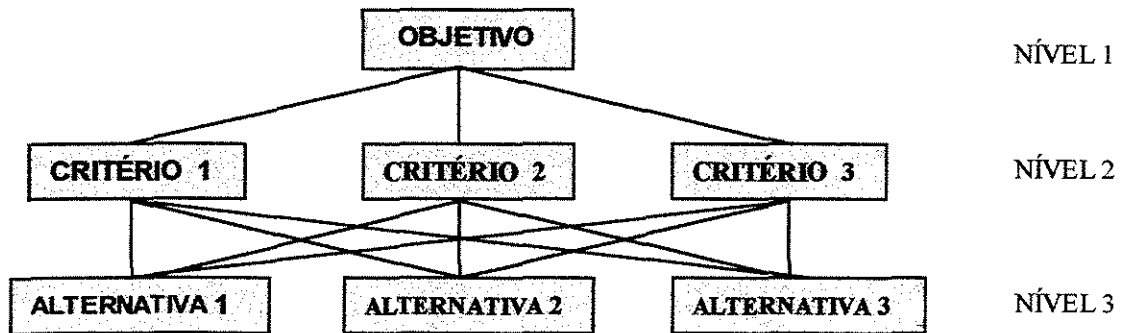
A montagem da hierarquia pode seguir os seguintes passos:

- Levantamento de todos os elementos e agrupamento de acordo com suas características comuns.
- Definição dos níveis hierárquicos estabelecendo as prioridades entre os grupos.
- Estabelecimento das relações de causa/efeito entre os elementos de um nível em relação ao nível abaixo.

A figura 5.1 mostra a estrutura básica de uma hierarquia simples composta por três

níveis com três critérios e alternativas.

Figura 5.1 Exemplo de uma hierarquia simples.



A hierarquia pode ser constituída de vários níveis, de forma que o nível mais alto represente o objetivo global, o nível mais baixo represente as alternativas avaliadas e os níveis intermediários correspondam às variáveis de diferenciação das alternativas, podendo ser definidos como critérios e subcritérios.

5.5.3 Tipos de hierarquia

As hierarquias podem ser classificadas quanto ao tipo de relação existente entre os elementos dos níveis subseqüentes.

- **Completa:** todos os elementos de um nível possuem arcos direcionados a todos os elementos do nível abaixo.
- **Semi-completa:** os elementos de um nível não estão ligados a todos os elementos do nível abaixo, exceto o penúltimo nível.
- **Incompleta:** Os elementos do penúltimo nível não possuem arcos direcionados a todos os elementos do último nível.

5.5.4 Prioridades em hierarquia

Após a montagem da hierarquia são operacionalizados os procedimentos para cálculo das prioridades.

a) Elaboração das matrizes

O AHP trabalha com variáveis quantificáveis ou não. Para a manipulação de ambos os tipos utiliza-se uma escala numérica que possibilita as comparações paritárias.

A cada elemento da hierarquia, exceto os pertencentes ao último nível, corresponde uma matriz. A matriz de um elemento é formada pelos elementos do nível abaixo interligados ao primeiro por um arco.

Na figura 5.2 é apresentada a matriz referente ao critério 1 da hierarquia mostrada na figura 5.1.

Figura 5.2 Exemplo de matriz de comparação paritária (MCP)

Crítério 1	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Alternativa 1			
Alternativa 2			
Alternativa 3			

b) Atribuição de valores

A ponderação dos valores é feita comparando-se os elementos dois a dois em relação ao objetivo. Avalia-se o quão maior é a contribuição de um elemento em relação ao outro para atingir-se o objetivo. No exemplo acima a comparação é realizada buscando saber, em relação ao critério 1, quanto a alternativa 1 é melhor ou pior que a alternativa 2, a alternativa 1 em relação à alternativa 3 e a alternativa 2 em relação à alternativa 3.

Deste modo preenche-se todas as células da matriz, observando-se que só é necessário avaliar-se a diagonal superior da matriz, uma vez que a comparação

alternativa 1 / alternativa 2 é o inverso da comparação alternativa 2 / alternativa 1.

ou seja: $a_{ij} = 1/a_{ji}$

Esta operação constitui, também, um elemento de controle da consistência da matriz. Por uma questão de convenção, ao se preencher a matriz, comparam-se os elementos da linha i com o elemento da coluna j .

c) Processo de julgamento

A escala de medida das comparações adotada pelo AHP é bastante simples e permite que os julgamentos entre os elementos sejam feitos em termos da importância, preferência e probabilidade. No quadro 5.1 são apresentados os valores da escala de medidas para a comparação de dois elementos hipotéticos A e B :

Quadro 5.1 - Escala de Medidas do Método de Análise Hierárquica

Definição da Relação entre os Elementos A e B	Valores da Escala
A e B são iguais em importância, preferência ou probabilidade	1
A é pouco mais importante, preferível ou provável que B	3
A é mais importante, preferível ou provável que B	5
A é muito mais importante, preferível ou provável que B	7
A é absolutamente mais importante, preferível ou provável que B	9
Determinação de situações intermediárias entre A e B	2, 4, 6, 8

Fonte: SAATY (1991)

Um elemento é igualmente importante quando comparado com ele próprio. Portanto, a diagonal principal da matriz de comparações paritárias possui todos os elementos iguais a 1 (um).

Os valores 2, 4, 6, 8 e seus recíprocos são usados para facilitar a representação de julgamentos levemente diferentes.

5.5.5 Justificativa Intuitiva do Método

Temos até aqui uma matriz $A = (a_{i,j})$ que contém os julgamentos obtidos através da comparação paritária dos elementos. O objetivo do método é obter, a partir destes julgamentos, os pesos associados a cada elemento.

Consideraremos uma hierarquia onde os elementos representam um conjunto de atividades C_1, C_2, \dots, C_n . Os julgamentos quantificados dos pares de atividades C_i, C_j são representados por uma matriz n por n .

$$A = (a_{i,j}) \quad (i,j = 1,2,3 \dots n)$$

Os elementos a_{ij} , representando as comparações entre C_i e C_j , satisfazem as seguintes condições:

- se $a_{i,j} = a$, então $a_{j,i} = 1/a$, e a é diferente de 0;
- se C_i é tão importante quanto C_j , então $a_{i,j} = 1$, $a_{j,i} = 1$ e $a_{i,i} = 1$ para todo i .

Quadro 5.2 Matriz de Comparação Paritária do AHP

$$A = \begin{vmatrix} 1 & a_{1,2} & \dots & a_{1,n} \\ 1/a_{1,2} & 1 & \dots & a_{2,n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1/a_{1,n} & 1/a_{2,n} & \dots & 1 \end{vmatrix}$$

Sendo os julgamentos comparativos entre C_i e C_j representados por $a_{i,j}$ na matriz A , o problema consiste na transformação destes julgamentos em um conjunto de pesos

w_1, w_2, \dots, w_n que reflitam estes julgamentos, para todo o conjunto de atividades C_1, C_2, \dots, C_n .

O problema deve, então, ser transformado em um problema matemático preciso. Deve-se escrever em termos aritméticos precisos como os pesos w_i deverão relacionar-se com os julgamentos $a_{i,j}$.

Inicialmente considera-se o caso em que os "julgamentos" sejam meramente o resultado de medidas físicas precisas, as relações entre os pesos w_i e os julgamentos $a_{i,j}$ são simplesmente dados por:

$$w_i / w_j = a_{i,j} \quad (\text{para } i, j = 1, 2, \dots, n)$$

O quadro 5.3 mostra a matriz A constituída pelas relações de w_i / w_j no lugar de $a_{i,j}$.

Quadro 5.3 Matriz de Comparação Paritária do AHP

$$A = \begin{vmatrix} w_1 / w_1 & w_1 / w_2 & \dots & w_1 / w_n \\ w_2 / w_1 & w_2 / w_2 & \dots & w_2 / w_n \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ w_n / w_1 & w_n / w_2 & \dots & w_n / w_n \end{vmatrix}$$

Esta situação é irreal uma vez que mesmo medidas físicas nunca são exatas em seu sentido matemático. Será considerada a situação em que ocorre desvios, até porque, em julgamentos humanos é esperado que estes desvios ocorram.

Considerando a linha de ordem "i" da matriz A de dimensão n temos:

$$a_{i,1}, a_{i,2}, \dots, a_{i,j}, \dots, a_{i,n}$$

Para o caso ideal (exato) estes valores são iguais a:

$$w_i / w_1, w_i / w_2, \dots, w_i / w_j, \dots, w_i / w_n$$

Procedendo-se a multiplicação do primeiro elemento por w_1 , o segundo por w_2 , e assim por diante, obtendo-se.

$$(w_i / w_1)w_1, (w_i / w_2)w_2, \dots, (w_i / w_j)w_j, \dots, (w_i / w_n)w_n$$

o que resulta em uma linha de elementos idênticos.

$$w_i, w_i, \dots, w_i, \dots, w_i$$

A linha de elementos w_i representa o espalhamento estatístico em torno do valor de w_i . É, portanto, válido esperar que w_i seja igual à média destes valores:

$$w_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n a_{ij} w_j \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (5.1)$$

Segundo Saaty (1991) esta condição ainda não é suficientemente realista sendo ainda restrita demais para assegurar a existência de um vetor w que satisfaça a equação 5.1. Para estimativas aceitáveis $a_{i,j}$ tende a ficar próximo de w_i / w_j . No entanto, à medida que $a_{i,j}$ é modificado haveria uma solução da equação 5.1 onde w_i e w_j seriam modificados para acomodar a variação de $a_{i,j}$ se n também sofrer modificações. Representando este valor de n por λ_{\max} tem-se:

$$w_i = \frac{1}{\lambda_{\max}} \sum_{j=1}^n a_{ij} w_j \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (5.2)$$

O fato da matriz de comparação ser recíproca e respeitar as condições:

- $a_{i,j} = 1/a_{j,i}$, e $a_{i,j} > 0$;
- se C_i é tão importante quanto C_j , então $a_{i,j} = 1$, $a_{j,i} = 1$ e $a_{i,i} = 1$ para todo i .

garante que o problemas tenha solução estável (Saaty,1991).

Este é o conhecido problema do autovalor que, em notação matricial, pode ser descrito com o chamado caso paradigma:

$$A w = n w , \quad (5.3)$$

onde:

A é uma matriz consistente:

n é a dimensão da matriz:

w é o vetor representativo dos pesos.

Considera-se, então, uma matriz A' recíproca que é uma perturbação de A , obtida de julgamentos de comparações paritárias, e soluciona-se o problema

$$A' w' = \lambda_{\max} w'. \quad (5.4)$$

onde λ_{\max} é o maior autovalor de A' .

5.5.6 Cálculo dos autovalores e autovetores.

De acordo com a teoria matricial os autovalores (λ) de uma matriz correspondem às raízes do polinômio característico, representado pela solução de:

$$\det | A - \lambda I | = 0, \quad (5.5)$$

dado por: $P(\lambda) = a_0\lambda^n + a_1\lambda^{n-1} + a_2\lambda^{n-2} + \dots + a_n$ (5.6)

A solução do polinômio $P(\lambda)$ são os m autovalores λ_i com $i = 1, 2, \dots, n$

onde n é a dimensão da matriz, igual ao número de autovalores da matriz.

Para cada λ_i ($i = 1, 2, \dots, m$) temos um autovetor w_i associado, que é obtido através da solução da equação:

$$Aw_i = \lambda_i w_i \quad (5.7)$$

No caso específico em estudo interessa o vetor associado ao autovalor máximo λ_{\max} ,

que será obtido através da solução da equação:

$$Aw = \lambda_{\max} w \quad (5.8)$$

Para a obtenção dos valores dos autovalores e autovetores existem diversos métodos numéricos descritos na bibliografia consultada.

a) Cálculo do autovetor principal

O procedimento mais comum para o cálculo do autovetor, apresentado por Saaty (1991), consiste em se elevar a matriz de comparações A ao quadrado, somar as linhas e normalizar estas somas. O processo é repetido até que a diferença entre estas sucessivas somas seja inferior a um valor pré determinado. A normalização das somas das linhas resulta no autovetor normalizado.

Este procedimento está fundamentado no teorema abaixo, cuja demonstração é encontrada em Saaty (1991).

Para uma matriz primitiva A :

$$\lim_{k \rightarrow \infty} \frac{A^k e}{e^T A e} = c w \quad (5.9)$$

onde:

c = constante

w = autovetor correspondente a λ_{\max}

$e = (1, 1, 1, \dots, 1)^T$

b) Cálculo do autovalor máximo

Um procedimento para o cálculo do valor exato (ou uma estimativa) do autovalor máximo λ_{\max} a partir dos valores exatos (ou estimativa) dos valores do autovetor associado normalizados encontra-se em Saaty (1994 a) apud Morita (1998).

O procedimento consiste em calcular a soma dos valores das colunas da matriz A e efetuar o produto escalar do vetor resultante com o vetor w .

5.5.7 Composição das prioridades para a hierarquia

Obteve-se até aqui as prioridades para cada matriz de comparação que compõe a hierarquia. Será apresentado abaixo os procedimento para compor o vetor de prioridades final para as alternativas.

O procedimento original proposto por Saaty para o Método de Análise Hierárquica é conhecido como *Modo Distributivo* e é obtido através da expressão abaixo::

$$w_i = \sum_{k=1}^m c_k w_{i,k} \quad (5.10)$$

onde:

w_i é o peso normalizado final da alternativa i

c_k é peso normalizado do critério k

$w_{i,k}$ é o peso normalizado da alternativa i referente ao critério k

m é o número de critérios e n é a dimensão da matriz A .

Um outro método para proceder a composição das prioridades, denominado *Modo Ideal*, foi apresentado por Belton e Gear (1982) apud Morita (1998) e foi incorporado ao software “Expert Choice” utilizado no estudo de caso desta dissertação. No *Modo ideal* o peso da alternativa i é dado por:

$$w_i = \frac{v_i}{\sum_{i=1}^n v_i} \quad \text{onde} \quad v_i = \sum_{k=1}^m \frac{c_k w_{i,k}}{\max_k w_{i,k}} \quad (5.11)$$

As características específicas deste método, bem como os critérios para utilização do modo ideal ou distributivo são discutidos no item 5.6.2.

5.5.8 Determinação da Consistência dos Julgamentos

A matriz A possui uma característica específica devido ao modo de como ela é montada. Além de ser recíproca: ($a_{i,j} = 1/a_{j,i}$) e ter $a_{i,i} = 1$, os elementos da matriz

possuem uma certa proporcionalidade entre si. Se o elemento A é considerado maior que B e B é maior que C , espera-se que A seja considerado maior que C . Se isto não acontece diz-se que a matriz não é consistente. Matematicamente pode-se escrever:

$$a_{i,k} = a_{i,j} a_{j,k} \quad \text{ou ainda,}$$

$$a_{i,k} = \frac{w_i}{w_j} \frac{w_j}{w_k} = \frac{w_i}{w_k} \quad (5.12)$$

É esta característica que garante que todas as linhas da matriz sejam combinação

linear da primeira, de modo que o posto de $A = 1$.

De acordo com a teoria matricial (Saaty, 1991):

- Se uma matriz tem posto $p = 1$ ela terá apenas um autovalor diferente de zero.
- A soma dos autovalores de uma matriz é igual ao seu traço.

O traço de uma matriz é dado pela soma dos valores da diagonal. A matriz A considerada tem o valor 1 em todas as diagonais, logo:

$$\text{traço } A = n$$

Portanto, tem-se que o único autovalor diferente de zero $\lambda_{\max} = n$.

Note-se que esta condição é válida para uma matriz A perfeitamente consistente. No preenchimento das matrizes de comparação é comum que ocorra algum grau de inconsistência, de modo que λ_{\max} pode ser diferente de n . Quanto mais próximo de n estiver λ_{\max} mais consistente será a matriz A . Este afastamento de λ_{\max} em relação a n será exatamente a medida de consistência da matriz A .

Saaty (1991) define um Índice de Consistência dado por:

$$IC = \frac{\lambda_{\max} - n}{(n - 1)} \quad (5.13)$$

A inconsistência tende a crescer com o tamanho da matriz. Para a incorporação desta variável, a dimensão da matriz, na avaliação da consistência foi realizado o seguinte procedimento. Foram definidas amostras de tamanho 500 para cada dimensão de matriz, variando de 3 a 15, preenchidas aleatoriamente, respeitando a escala de 1 a 9 e a condição de $a_{i,j} = 1/a_{j,i}$. Foram calculados os Índices de Consistência (denominados de IR – Índice Randômico) para cada dimensão de matriz através da média das matrizes da amostra.

$$IR = média \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (5.14)$$

A tabela 5.1 mostra os valores obtidos para matrizes de dimensão de 3 a 15:

Tabela 5.1: IR para matrizes de dimensão de 3 a 15.

n.	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
IR	0.52	0.89	1.11	1.25	1.35	1.40	1.45	1.49	1.51	1.54	1.56	1.57	1.58

Tabela de Índice Randômico (Saaty, 1994 apud Morita, 1998)

Foi definida, então, uma razão de consistência RC dada por:

$$RC = \frac{IC}{IR} \quad (5.15)$$

Através da comparação do Índice de Consistência da Matriz A com o Índice Randômico correspondente pondera-se o tamanho da matriz de forma que é tolerado um maior IC para matrizes maiores e se é mais rigoroso com matrizes pequenas.

Toda a bibliografia consultada reproduz a indicação de Saaty (1991) de que uma RC menor de 0,1 é aceitável e que valores maiores indicariam a necessidade de revisão dos julgamentos da matriz. Não foi encontrada nenhuma justificativa mais detalhada desta recomendação.

5.5.9 Cálculo da Razão de Consistência para a hierarquia

Até aqui foram apresentados os procedimentos para cálculo da Razão de Consistência para cada matriz de comparação que compõe a hierarquia. Saaty (1991) apresenta o seguinte procedimento para o cálculo da Razão de Consistência para a hierarquia inteira. Multiplica-se o IC de cada matriz de comparação pela prioridade da propriedade com respeito a qual foram feitas as comparações. Somam-se, em seguida, estes

resultados para a hierarquia inteira. Repete-se o mesmo procedimento para os IR, multiplicando os IR de cada matriz pela prioridade da propriedade correspondente e procede-se a soma para toda a hierarquia. A Razão de Consistência para a Hierarquia inteira (RCH) é dada pela divisão das duas somas. Podemos expressar matematicamente.

$$RCH = \frac{\sum_{i=1}^m w_i (IC)_i}{\sum_{i=1}^m w_i (IR)_i} \quad (5.16)$$

onde:

w_i é a prioridade do critério referente ao qual foi feita a comparação da matriz i

$(IC)_i$ é o Índice de Consistência da matriz i .

$(IR)_i$ é o Índice Randômico correspondente à dimensão da matriz i .

m é o número de matrizes de comparação paritária que compõem a hierarquia.

5.6 Análise crítica do método de análise hierárquica

A partir do final da década de 80, em função da grande difusão do Método de Análise Hierárquica, um grande número de trabalhos passaram a ser publicados questionando as características do método e inúmeros outros defendendo a formulação original proposta por Saaty em 1977.

Harker e Vargas (1987) apresentaram quatro aspectos do método que costumam ser criticados, são eles:

- Falhas na sua base axiomática;
- Ambigüidade no procedimento de obtenção dos julgamentos;

- Problemas na escala usada para medir a intensidade das preferências, e a
- Ocorrência do fenômeno da inversão de ordem.

O número de março de 1990 do periódico "Management Science" publicou cinco artigos sobre o AHP nos quais foram debatidos os pontos mais criticados do método.

Dyer (1990a) apresenta severas críticas ao Método de Análise Hierárquica. Aponta a dificuldade de validação da base axiomática através de testes empíricos. Afirmar, ainda, que as prioridades geradas são arbitrárias e cita como exemplo o fenômeno de inversão de ordem (rank reversal). Para solução deste último "problema" propõe alguns procedimentos baseados na Teoria da Utilidade Multiatributiva.

Os dois artigos seguintes fazem a defesa do AHP. Primeiro Saaty (1990b) esclarece que a teoria do AHP é diferente e independente da Teoria da Utilidade, sendo esta um processo normativo, enquanto o AHP é um processo descritivo. Quanto ao fenômeno de inversão de ordem Saaty afirma que a alteração de pesos, inclusão ou exclusão de critérios ou alternativas, modifica o problema analisado, sendo aceitável a obtenção de outros resultados. Os procedimentos sugeridos por Dyer não são aceitos por Saaty.

Continuando a defesa do AHP, Harker e Vargas (1990) em outro artigo apresentam argumentos na mesma linha que Saaty, afirmando que o argumento de que os resultados do AHP são arbitrários decorrem da falta de uma compreensão adequada dos fundamentos do método por parte dos críticos.

No quinto e último artigo da série Dyer (1990b) afirma não querer estender a polêmica afirmando que as opiniões já estão devidamente esclarecidas. Neste texto apenas tenta esclarecer as soluções propostas em seu outro artigo (Dyer, 1990a) para a eliminação do problema de inversão de ordem.

Dentre os problemas do AHP citados na literatura, a inversão de ordem e os problemas ligados à utilização da escala original proposta por Saaty merecem maior atenção e serão discutidos com maior profundidade.

5.6.1 Inversão de ordem das alternativas (Rank reversal)

O principal resultado do Método de Análise Hierárquica é o ordenamento (ou classificação) das alternativas. A alteração desta ordem pode implicar em mudança nos resultados, principalmente se o objetivo da análise for a escolha de apenas uma dentre as alternativas. O fenômeno da “inversão de ordem” é citado na literatura como um problema do método AHP, na medida que ocorrem alterações no ordenamento das alternativas em situações em que não deveria ocorrê-lo.

Segundo Morita (1998) o fenômeno da “inversão de ordem das alternativas” (rank reversal) pode ocorrer de três formas, conforme sua origem:

- a) Como consequência da alteração dos julgamentos paritários dos elementos.
- b) Pela inclusão ou exclusão de critérios (ou subobjetivos), sem alteração dos julgamentos dos elementos remanescentes.
- c) Pela alteração da quantidade de alternativas sem alterar os julgamentos dos elementos remanescentes.

A inversão de ordem das alternativas devido à alteração nos julgamentos (primeiro caso) é um resultado natural e esperado.

No segundo caso, onde ocorre a inversão de ordem pela inclusão ou exclusão de critérios, podem acontecer resultados inesperados. Morita (1998) ilustra o problema com um exemplo da escolha de uma escola onde são consideradas três alternativas (A, B e C) que são avaliadas inicialmente por 6 critérios (aprendizado, colegas, vida escolar, treinamento vocacional, preparação para a universidade e aula de música). Numa primeira simulação a ordenação resultante foi A, B e C. Num segundo momento foi introduzido um novo critério, o valor da mensalidade. Este critério, comparativamente aos demais, foi considerado o menos importante e julgado pouco relevante para o problema. Desta maneira, esperava-se que não houvesse alteração no ordenamento resultante. No entanto, na segunda simulação, considerando o novo critério, a

alternativa B passou para o primeiro lugar, seguida pela alternativa A e depois a C.

Este tipo de inversão de ordem, que parece à primeira vista preocupante, foi questionado por Dyer (1991). Saaty (1990) e Harker e Vargas (1990), respondendo ao questionamento, afirmam que a introdução ou exclusão de critérios altera o problema e, portanto, pode haver mudança no resultado.

De fato, analisando com cuidado o exemplo acima, nota-se que no critério adicionado (mensalidade) a alternativa B foi julgada bem melhor que a alternativa A, melhorando o desempenho global da alternativa B. Como a posição das duas alternativas (A e B) era muito próxima na primeira simulação a melhoria no desempenho da alternativa B foi suficiente para levá-la para o primeiro lugar.

Este tipo de inversão parece ser natural na medida em que a estrutura do problema é alterada. O raciocínio de que o fato do critério adicionado ser pouco relevante indicaria que ele não deveria alterar a ordenação inicial, não é correto. No exemplo analisado, mesmo sendo o critério mensalidade pouco importante ele contribuiu para a melhoria do desempenho da alternativa B e, portanto, para a inversão da ordem das alternativas.

O terceiro caso é a inversão de ordem devido à inclusão ou exclusão de alternativas.

Se a alternativa adicionada for relevante, isto é, estiver entre as primeiras, a mudança na classificação das alternativas é um resultado natural e esperado.

Se a alternativa adicionada for irrelevante, isto é, estiver entre as últimas da classificação, seria de se esperar que a sua inclusão não alterasse o posicionamento das primeiras. No entanto, isto pode acontecer, e é deste tipo de caso que será tratado a seguir.

Segundo Morita (1998) vários autores já discutiram o assunto e classificaram o fenômeno de inversão de ordem como um efeito indesejável e incorreto: (Belton e Gear,

1982, Watson e Freeling, 1982, Dyer, 1990a e 1990b e Pérez, 1995). E ainda, o próprio Saaty afirma que a reversão de ordem é uma propriedade indesejável se causada pela adição de alternativas realmente irrelevantes (Saaty, 1994b).

Morita (1998) após analisar um exemplo onde ocorre a inversão de ordem devido à inclusão de uma alternativa irrelevante, conclui que para modificar a ordem das prioridades a nova alternativa funciona como referência adicional das alternativas anteriores. Se a nova alternativa é irrelevante significa que o peso das referências adicionais também é pequeno. E modificar a ordem das alternativas significa fornecer referências contrárias à situação atual. Quando isto acontece a inconsistência tende a aumentar, pois a nova situação contraria a situação anterior.

Por outro lado, a simples inclusão de uma nova alternativa tende a diminuir a inconsistência, pois, quanto maior a dimensão da matriz de comparações paritárias, menor é o efeito de uma nova alternativa em termos de inconsistência.

5.6.2 Cálculos para evitar a inversão de ordem

Para evitar o fenômeno de inversão de ordem Belton e Gear (1982) apud Morita (1998) apresentaram um artifício denominado de *modo ideal*, onde é atribuído o valor unitário para o peso da alternativa de maior prioridade. Posteriormente, o vetor dos pesos resultantes é normalizado. No *modo ideal* a introdução de novas alternativas de pouco peso, portanto, irrelevantes, não modifica a posição da melhor alternativa.

O artifício introduzido pelo *modo ideal* altera a lógica do AHP de maneira que ele é adequado para situações onde se pretende obter uma única e melhor alternativa. Quando se pretende obter uma ordenação cardinal entre alternativas é recomendável que se utilize a forma original do AHP, denominado de *modo distributivo*, onde os pesos totalizam o valor unitário.

O software “*Expert Choice*” versão 9.0 for student, utilizado no estudo de caso,

apresenta os dois modos, distributivo e ideal. Assim, deve-se proceder a escolha do modo a ser utilizado de acordo com o problema que está sendo analisado.

Modo distributivo: Deve ser utilizado em situações onde o objetivo é obter a ordenação cardinal das alternativas, isto é, interessa saber qual a posição de todos os elementos do conjunto de alternativas avaliadas.

Modo ideal: Deve ser utilizado em situações onde o objetivo é obter a melhor alternativa e não interessam as demais alternativas.

As fórmulas de cálculo das prioridades da hierarquia para os dois modos, distributivo e ideal, já foram apresentadas no item 5.5.7.

6. Procedimento Proposto

O procedimento proposto consiste na utilização dos dois métodos, Análise Benefício Custo e Método de Análise Hierárquica, para a avaliação de projetos de transportes. A aplicação da Análise Benefício Custo deve seguir as seguintes recomendações:

- Os preços sociais devem ser estimados de acordo com as informações disponíveis.
- Deve ser escolhido um conjunto de indicadores, dentre os métodos quantitativos, de acordo com as características das alternativas avaliadas.
- Os indicadores devem ser calculados sob o ponto de vista social.
- Deve ser realizada análise de sensibilidade em relação às variáveis envolvidas.

A partir dos resultados da Análise Benefício Custo é montada a hierarquia para avaliação segundo o Método de Análise Hierárquica.

Os indicadores escolhidos para a Análise Benefício Custo devem compor a hierarquia do AHP. As demais quantificações realizadas no processo de elaboração da Análise B/C são utilizadas, quando necessárias, para a montagem das matrizes de julgamentos.

Os cálculos das prioridades e o ordenamento final das alternativas são realizados utilizando-se o software “Expert Choice”, cuja estrutura básica está descrita no anexo 1.

Através dos procedimentos propostos espera-se chegar aos seguintes resultados:

A Análise Benefício Custo fornece uma avaliação consistente em relação aos aspectos econômicos das alternativas. A análise do ponto de vista privado fornece subsídios para a definição da atuação política do Governo em relação à viabilidade do projeto.

A avaliação através do Método de Análise Hierárquica fornece o ordenamento final das alternativas, considerando um conjunto mais amplo de variáveis, incluindo as de difícil quantificação e de caráter mais subjetivo.

7 Estudo de Caso

7.1 Introdução

A aplicação dos procedimentos propostos foi realizada através da avaliação de alternativas de rede para o sistema de transporte coletivo da cidade de Porto Alegre. O problema analisado foi considerado no contexto do processo de elaboração do Plano Diretor de Transporte Coletivo para o município, em 1999.

A avaliação realizada neste trabalho tem o objetivo único de testar a metodologia proposta não havendo nenhuma intenção de comparação com os resultados obtidos no projeto do Plano Diretor de Transportes, primeiramente pelas diferenças nas abordagens do problema e, em segundo lugar, pelo fato de uma série de dados necessários para este estudo de caso terem sido estimados.

7.2 Definição das Alternativas

As alternativas avaliadas neste estudo de caso foram as mesmas analisadas no Plano Diretor de Transporte Coletivo e foram geradas a partir de diretrizes definidas pela órgão gestor municipal.

As alternativas referem-se basicamente à opções de rede de transporte coletivo com diferenciações na utilização de terminais, nos esquemas operacionais e nas políticas de integração.

As diretrizes definidas para a escolha da nova rede de transporte coletivo são apresentadas a seguir:

- Minimização do impacto para o usuário da utilização de terminais de transferência reduzindo a necessidade de transbordo como a adoção de ligações diretas, quando possível, na forma de linhas semi-expressas e/ou retornos em centros regionais, bem como, com a constituição de uma rede de linhas alimentadoras de menor tempo de percurso nos bairros.
- Taxa de ocupação nos veículos na seção crítica de no máximo 6.0 (seis) passageiros em pé por metro quadrado.
- Aumento de acessibilidade geral aos usuários, através da oferta de destinos variados a partir dos terminais de integração, incluindo um conjunto de ligações inter-terminais visando a garantia de articulação entre regiões sem necessidade de acesso ao centro.
- Redução das transferências onerosas atualmente realizadas em pontos de ônibus dispersos no sistema.
- Aumento da acessibilidade interna às próprias regiões, através da rede de captação nos bairros e reforço dos pólos regionais, visando incentivar o desenvolvimento de atividades descentralizadas.
- Adequação da rede proposta às projeções de viagens para o ano horizonte de projeto (2013).
- Racionalização da rede de transporte coletivo por ônibus municipal reduzindo percursos ociosos e o custo operacional do sistema.
- Utilização de modais de transporte coletivo adequados às faixas de demanda e que permitam melhores relações de custo operacional e qualidade de transporte.

No estudo de alternativas, no Plano Diretor de Transporte, foram definidas três opções

básicas de intervenção e uma alternativa de referência (alternativa nula) para comparação e análise das simulações.

No estudo de caso serão consideradas estas mesmas alternativas, principalmente para que seja possível utilizar os resultados das simulações realizadas.

Alternativa 0: A alternativa nula mantém as características da rede atual, acrescida da rede integrada proposta para o corredor Norte/Nordeste, já em implantação. Trata-se da alternativa básica de comparação, na medida em que não prevê investimentos no sistema além daqueles já comprometidos.

Alternativa 1: Compõe-se da configuração atual (igual à alternativa 0) acrescida de adoção de tratamentos viários nos corredores que servem à região Sul (Icaraí / Borges de Medeiros e Nonoai / Teresópolis), porém sem a utilização de terminais ou esquemas de integração. Com esta alternativa pretende-se responder à seguinte questão: o tratamento de priorização do transporte coletivo sobre o sistema viário é suficiente para atingir os objetivos almejados com uma nova rede de transporte, ou será necessária a adoção de sistemas tronco-alimentados com terminais de integração em outras regiões da cidade, à semelhança do sistema Norte / Nordeste.

Alternativa 2 Contempla o seccionamento completo das linhas radiais formando um conjunto de linhas alimentadoras com concentração de demanda em Terminais de Integração e mudança de tecnologia veicular para as ligações troncais. É a alternativa de integração radical.

Alternativa 3: É a alternativa de flexibilidade operacional, quando se mantém o conceito de integração em terminais, porém adequando a rede aos principais fluxos de viagens, criando-se serviços expressos, retornos operacionais e linhas diretas, além das linhas alimentadoras e troncais.

7.3 Aspectos urbanos e sócio econômicos de Porto Alegre

A população do município de Porto Alegre totaliza 1.222.800 habitantes, segundo uma atualização para 1996, realizada pela Secretaria Municipal de Planejamento, sobre os dados do censo do IBGE de 1991.

O município apresentou taxa de crescimento média de 1980 a 1996 de 0,8 % ao ano. Nas regiões localizadas no extremo nordeste e na região sul foram observadas taxas acima da média, enquanto em regiões próximas ao centro observou-se redução da população residente.

A análise espacial dos empregos indica uma forte concentração de oferta no Centro e Centro Expandido, totalizando 55% dos empregos da cidade. A região Norte / Nordeste revela-se, também, como um importante polo de empregos, com uma concentração de aproximadamente 31 % dos empregos da cidade. Na região Sul / Sudeste encontram-se os outros 14 % dos empregos.

A renda média do chefe de domicílio para a cidade de Porto Alegre em 1991, era de 6,46 salários mínimos, com uma forte disparidade entre zonas. A região Norte / Nordeste apresenta renda média próxima à média da cidade, enquanto que a região Sul / Sudeste apresenta renda média inferior à média, e a região do Centro e Centro Expandido apresenta renda média superior à média.

7.4 Aspectos do transporte coletivo de Porto Alegre

7.4.1 Demanda

O total de passageiros transportados por dia tipo é apresentado na tabela 7.1

Tabela 7.1 Número de passageiros por tipo de dia e tipo de linha.

Dia Tipo	Sentido	Núm. Passageiros
Útil	BC	586.564
	CB	603.362
	Circular	22.062
	Total	1.211.988
Sábado	BC	303.179
	CB	302.523
	Circular	7.447
	Total	613.149
Domingo	BC	159.838
	CB	163.846
	Circular	2.461
	Total	326.145

Fonte: Plano Diretor de Transporte Coletivo de Porto Alegre.

7.4.2 Oferta

A rede de transporte por ônibus do Município de Porto Alegre é composta por 293 linhas, sendo 249 linhas comuns, 44 linhas especiais (6 do tipo escolar, 28 do tipo eventos e 10 do tipo noturna).

Entre as linhas comuns pode-se identificar seis tipos, conforme as características do atendimento oferecido: radial, radial/direta, transversal, retorno, regional e alimentadora. A tabela 7.2 apresenta um resumo dos dados operacionais por tipo de linha.

Tabela 7.2 Dados operacionais do sistema de transporte de Porto Alegre.

Tipo	Linhas	Viag. HPM	Viag. HPT	KM/mês	Pass/mês	Pass/Dia Útil
Radial	182	540	634	6.915.523	23.611.924	935.806
Transversal,	9	62	61	794.187	3.535.640	140.136
Retorno	20	40	43	430.396	1.341.061	56.466
Radial/direta	10	22	32	232.406	596.293	26.465
Regional	16	30	30	138.635	554.173	23.446
Alimentadora	12	9	7	92.719	171.863	6.833
Total Global	249	712	807	8.603.866	29.810.953	1.189.153

Fonte: Plano Diretor de Transporte Coletivo de Porto Alegre.

7.4.3 Transferências

No período de três horas do pico da manhã foram identificadas 35.359 viagens de usuários que tiveram necessidade de realizar transferências para completar o deslocamento. Considerando o fator hora pico de 47 %, são 16.629 viagens na hora pico manhã que realizam transferências.

As viagens com transferências tem origens principalmente concentradas na região Sul / Sudeste (57 %).

Quanto aos destinos das viagens que realizam transferências, a participação de cada região é mais dispersa. As viagens com destino na região Sul / Sudeste representam 37 % do total, seguidas das viagens para a região Norte / Nordeste com 36 %, Centro com 15 % e Leste com 12 %.

Com relação aos locais onde ocorrem estas transferências, as trocas de linha acontecem principalmente nas seguintes macrozonas: Centro (35 %), Azenha (20 %) Institucional (15 %), Centro Expandido / João Pessoa (9%) e Assis Brasil (8 %).

7.5 Avaliação econômica das alternativas (análise B/C)

A avaliação econômica (ou análise B / C) foi realizada seguindo os conceitos discutidos na primeira fase deste trabalho (Pomeranz, 1992, Contador, 1997, EBTU, 1982).

O modelo de avaliação econômica consiste na comparação dos resultados entre benefícios e custos para as situações com e sem a implantação do projeto, para cada uma das três alternativas.

Os principais benefícios considerados incluem:

- Redução dos Custos Operacionais
- Redução dos Tempos de Viagem

Os custos de implantação incluindo infra-estrutura e frota, foram calculados a partir de dados contidos no Relatório Técnico do Plano Diretor de Transportes Públicos Coletivos do Município de Porto Alegre. Foi utilizada para o cálculo dos custos operacionais de cada alternativa planilha de custos elaborada pela Secretaria de Transportes de Porto Alegre.

Para a avaliação econômica das alternativas foram escolhidos inicialmente três indicadores como *figuras de mérito*: Após os resultados, se estes indicadores não fossem suficientes para a avaliação, poderia se recorrer a outros indicadores dentre os vários citados anteriormente. Os indicadores selecionados foram os seguintes:

- a) *Valor presente líquido.*
- b) Razão benefício/custo.
- c) Taxa interna de retorno, referidas ao período de vida útil do projeto, estimado em 15 anos.

7.5.1 Custos das alternativas

a) Custos de implantação das alternativas

Os custos de implantação das alternativas foram obtidos a partir do Relatório Técnico do Plano Diretor. Consistem dos custos de obras civis de implantação de alterações no sistema viário, de construção de terminais e de aquisição de frota adequada ao novo modelo operacional.

a1) Custos de intervenção no sistema viário e na implantação de terminais.

O custo de implantação da alternativa 1 refere-se apenas à intervenção no sistema viário. Nas alternativas 2 e 3 estes custos incluem intervenção no sistema viário e

implantação de terminais. Para a alternativa 2 os terminais previstos serão maiores devido a uma maior demanda por integração.

Tabela 7.3 Investimentos - Alternativa 1

Investimento em Sistema Viário			
Intervenção Viário	Extensão (Km)	Custo Unitário	Custo Total
Via Nova	2,37	R\$ 2.500.000,00	R\$ 5.925.000,00
Pista Exclusiva	24,12	R\$ 539.883,55	R\$ 13.021.991,23
Faixa Preferencial	39,00	R\$ 110.000,00	R\$ 4.290.000,00
Sub Total Viário	65,49		R\$ 23.236.991,23
Intervenção Equipamentos	Quantidade	Custo Unitário	Custo Total
Estação	49,00	R\$ 259.370,57	R\$ 12.709.157,93
Parada	132,00	R\$ 10.268,96	R\$ 1.355.502,72
Sub Total Equipamentos	181,00		R\$ 14.064.660,65
Total sistema Viário			R\$ 37.301.651,88
Total sistema viário (valor econ. = valor financ. – 28%) *			R\$ 26.857.189,35

* o valor do custo foi ajustado através da retirada dos impostos IPI =10 % e ICMS =18 %, conforme justificados no item 7.5.2

Tabela 7.4 Investimentos - Alternativa 2

Investimentos em Terminais de Integração				
implantação	Obras Civas	Desap/Terreno	Equipamentos	Total
T. Protásio Alves	R\$ 1.183.176,00	R\$ 388.620,00	R\$ 118.317,00	R\$ 1.690.113,00
Terminal Cavalhada	R\$ 2.045.673,00	R\$ 645.322,00	R\$ 204.567,00	R\$ 2.895.562,00
terminal Cristal	R\$ 1.798.510,00	R\$ 768.100,00	R\$ 179.851,00	R\$ 2.746.461,00
Sub Total Implanatção	R\$ 5.027.359,00	R\$ 1.802.042,00	R\$ 502.735,00	R\$ 7.332.136,00
Reforma				
T. Antônio de Carvalho	R\$ 411.904,00		R\$ 41.190,00	R\$ 453.094,00
Terminal Belém Velho	R\$ 320.922,00	R\$ 40.506,00	R\$ 32.092,00	R\$ 393.520,00
Sub Total Reforma	R\$ 732.826,00	R\$ 40.506,00	R\$ 73.282,00	R\$ 846.614,00
Total Terminais	R\$ 5.760.185,00	R\$ 1.842.548,00	R\$ 576.017,00	R\$ 8.178.750,00
Total terminais (valor econ. = valor financ. – 28%) *				R\$ 5.888.700,00
Os terminais orçados foram dimensionados para a alternativa 3, troncalização flexível. A alternativa 2, troncalização radical terá uma movimentação estimada em 27 % maior que a alternativa 3. Assim, o custo foi aumentado nesta mesma proporção:				
Total terminais				R\$ 7.465.793,00
Investimento em Sistema Viário				
Intervenção Viário	Extensão (Km)	Custo Unitário	Custo Total	
Via Nova	2,37	R\$ 2.500.000,00	R\$ 5.925.000,00	
Pista Exclusiva	24,12	R\$ 539.883,55	R\$ 13.021.991,23	
Faixa Preferencial	39,00	R\$ 110.000,00	R\$ 4.290.000,00	
Sub Total Viário	65,49		R\$ 23.236.991,23	
Intervenção Equipamentos	Quaantidade	Custo Unitário	Custo Total	
Estação	49,00	R\$ 259.370,57	R\$ 12.709.157,93	
Parada	132,00	R\$ 10.268,96	R\$ 1.355.502,72	
Sub Total Equipamentos	181,00		R\$ 14.064.660,65	
Total sistema Viário			R\$ 37.301.651,88	
Total sistema viário (valor econ. = valor financ. – 28%) *			R\$ 26.857.189,35	

* o valor do custo foi ajustado através da retirada dos impostos IPI =10 % e ICMS =18 %, conforme justificados no item 7.5.2

Tabela 7.5 Investimentos - Alternativa 3

Investimentos em Terminais de Integração				
implantação	Obras Civas	Desap/Terreno	Equipamentos	Total
T. Protásio Alves	R\$ 1.183.176,00	R\$ 388.620,00	R\$ 118.317,00	R\$ 1.690.113,00
Terminal Cavahada	R\$ 2.045.673,00	R\$ 645.322,00	R\$ 204.567,00	R\$ 2.895.562,00
terminal Cristal	R\$ 1.798.510,00	R\$ 768.100,00	R\$ 179.851,00	R\$ 2.746.461,00
Sub Total Implanatção	R\$ 5.027.359,00	R\$ 1.802.042,00	R\$ 502.735,00	R\$ 7.332.136,00
Reforma				
T.Antônio de Carvalho	R\$ 411.904,00		R\$ 41.190,00	R\$ 453.094,00
Terminal Belém Velho	R\$ 320.922,00	R\$ 40.506,00	R\$ 32.092,00	R\$ 393.520,00
Sub Total Reforma	R\$ 732.826,00	R\$ 40.506,00	R\$ 73.282,00	R\$ 846.614,00
Total Terminais	R\$ 5.760.185,00	R\$ 1.842.548,00	R\$ 576.017,00	R\$ 8.178.750,00
Total terminais (valor econ. = valor financ. – 28%) *				R\$ 5.888.700,00
Investimento em Sistema Viário				
Intervenção Viário	Extensão (Km)	Custo Unitário	Custo Total	
Via Nova	2,37	R\$ 2.500.000,00	R\$ 5.925.000,00	
Pista Exclusiva	24,12	R\$ 539.883,55	R\$ 13.021.991,23	
Faixa Preferencial	39,00	R\$ 110.000,00	R\$ 4.290.000,00	
Sub Total Viário	65,49		R\$ 23.236.991,23	
Intervenção Equipamentos	Quantidade	Custo Unitário	Custo Total	
Estação	49,00	R\$ 259.370,57	R\$ 12.709.157,93	
Parada	132,00	R\$ 10.268,96	R\$ 1.355.502,72	
Sub Total Equipamentos	181,00		R\$ 14.064.660,65	
Total sistema Viário			R\$ 37.301.651,88	
Total sistema viário (valor econ. = valor financ. – 28%) *			R\$ 26.857.189,35	

* o valor do custo foi ajustado através da retirada dos impostos IPI =10 % e ICMS =18 %, conforme justificados no item 7.5.2

a2) Investimento em frota.

O investimento em frota refere-se à adequação do número de veículos e do tipo (capacidade) de acordo com o modelo operacional de cada alternativa.

Os veículos leves serão reaproveitados no novo sistema. Assim, calculou-se a diferença entre o número de veículos existentes (alternativa 0) e as alternativas consideradas. No caso do número de veículos necessários ser maior que o existente foi prevista a aquisição de veículos novos. No caso do número de veículos necessários ser menor que o existente foi prevista a venda a preço de mercado, que foi estimado em metade do preço do veículo novo.

Nos demais tipos de veículos não será possível o reaproveitamento em função dos novos corredores operarem com porta à esquerda. Assim, foi prevista a aquisição de frota nova para veículos pesados, articulados e bi-articulados.

Foi considerada a venda dos veículos existentes a preço de mercado, estimado em 50 % do preço do veículo novo. Foi considerado ainda, que neste valor já foi descontado o ICMS sobre o preço de venda dos veículos usados.

Para a adequação do montante de investimento em frota em valor econômico foi considerada a retirada, do preço do veículo novo, de 18 % referente ao ICMS. Os veículos são isentos de IPI.

Na tabela 7.6 a seguir é mostrado o investimento necessário em aquisição de frota.

Tabela 7.6 Investimentos em aquisição de frota.

Alternativa 0							
Tipo de Veículo	Número de veículos	Custo Unitário (novo)	Custo Unitário (usado)				
Leve	1,038	100,000	50,000				
Pesado	555	134,310	67,155				
Articulado	192	208,509	104,255				
Biarticulado		300,000	-				
Total Sistema	1,785						
Alternativa 1							
Tipo de Veículo	Número de veículos	Custo Unitário	Custo Unitário (usado)	Veic Neces. - Veic. Exist.	Compra de veículos novos	Venda de veículos	Valor economico (-18%)
Leve	925	100,000	50,000	(113)		(5,650,000)	
Pesado	606	134,310	67,155	51	81,391,860	(37,271,025)	
Articulado	182	208,509	104,255	(10)	37,948,638	(20,016,864)	
Biarticulado		300,000	-	-	-		
Total Sistema	1,713				119,340,498	(62,937,889)	34,921,319
Alternativa2							
Tipo de Veículo	Número de veículos	Custo Unitário	Custo Unitário (usado)	Veic Neces. - Veic. Exist.	Compra de veículos novos	Venda de veículos	Valor economico (-18%)
Leve	464	100,000	50,000	(574)		(28,700,000)	
Pesado	533	134,310	67,155		71,587,230	(37,271,025)	
Articulado	218	208,509	104,255		45,454,962	(20,016,864)	
Biarticulado	67	300,000			20,100,000	-	
Total Sistema	1,282				137,142,192	(85,987,889)	26,468,708
Alternativa 3							
Tipo de Veículo	Número de veículos	Custo Unitário	Custo Unitário (usado)	Veic Neces. - Veic. Exist.	Compra de veículos novos	Venda de veículos	Valor economico (-18%)
Leve	536	100,000	50,000	(502)		(25,100,000)	
Pesado	595	134,310	67,155		79,914,450	(37,271,025)	
Articulado	235	208,509	104,255		48,999,615	(20,016,864)	
Biarticulado	46	300,000			13,800,000	-	
Total Sistema	1,412				142,714,065	(82,387,889)	34,637,644

** o valor do custo foi ajustado através da retirada do imposto ICMS =18 %, conforme justificados no item 7.5.2

Resumos dos custos de implantação

Na tabela abaixo é apresentado um resumo dos custos econômicos de implantação de cada alternativa

Tabela 7.7 Resumo dos custos de implantação.

Alternativa	Investimento em Terminais	Investimento em Sistema Viário	Investimento em Frota	Total de Investimento
Alternativa 0	-	-	-	-
Alternativa 1	-	R\$ 26.857.189,35	R\$ 34.921,319	R\$ 61.778.508
Alternativa 2	R\$ 7.465.793,00	R\$ 26.857.189,35	R\$ 26.468,708	R\$ 60.791.690
Alternativa 3	R\$ 5.888.700,00	R\$ 26.857.189,35	R\$ 34.637,644	R\$ 67.383.533

b) Custo operacional de cada alternativa.

O custo operacional de cada uma das três alternativas, além da alternativa nula, foi calculado com base em planilha de custos, utilizada pela Secretaria Municipal de Transportes de Porto Alegre. No quadro 7.1 é mostrado a estrutura básica da planilha de custos utilizada.

Quadro 7.1 Componentes dos custos totais da planilha tarifária

1	CUSTOS VARIÁVEIS
1.1	Combustível
1.2	Óleos e lubrificantes
1.3	Rodagem
2	CUSTO FIXO TOTAL POR QUILOMETRO
2.1	Custo de capital
2.1.1	Depreciação de capital
2.1.2	Remuneração de capital
2.2	Despesa com peças e acessórios
2.3	Despesa com pessoal de operação e manutenção
2.4	Custo das despesas administrativas
2.4.1	Pessoal administrativo
2.4.2	Outras despesas
2.4.3	Seguro passageiro
2.4.4	Seguro dpvat
2.4.5	Pró-labore
2.4.6	Plano saúde
3	Custo Total Por Quilômetro (1+2)

7.5.2 Adequação dos custos financeiros para custos econômicos

Os valores obtidos com os cálculos da planilha se constituem em montantes financeiros e devem ser adequados a valores econômicos sofrendo alguns ajustes, os quais são apresentados a seguir: Além dos ajustes nos preços dos insumos do transporte, também foram desconsiderados os impostos que incidem diretamente no custo final para o cálculo da tarifa.

ISS	2,50 %
PIS	0,65 %
COFINS	3,00 %
TX. GERENCIAMENTO	2,00 %
CPMF	0,38 %
TOTAL	8.53 %

Encargos Sobre Materiais e Sobressalentes

Este ônus é constituído basicamente pelo IPI e pelo ICMS incidentes sobre todos os produtos adquiridos no mercado nacional.

As alíquotas consideradas foram, respectivamente:

IPI = 10%

ICMS = 18%

Cabe destacar, entretanto, que pelo Artigo 95 do Decreto Federal nº 99 073, de 08 / 03 / 90, estão isentos do IPI a compra de equipamentos, máquinas, aparelhos e instrumentos adquiridos para a execução de projetos de infra-estrutura na área de transporte, saneamento e telecomunicações.

Desta forma, todos os produtos que se enquadram nas condições estabelecidas no citado Decreto foram taxados em 18% e os demais em 28 %.

Fator de Correção dos Gastos Com Pessoal

Para esta correção considerou-se somente a incidência dos encargos sociais sobre a folha de pagamentos. O resumo destes encargos é apresentado a seguir:

Quadro 7.2 Resumo dos Encargos Sociais

Grupo I :	
01 - IAPAS	20,00%
02 - Sesi	1,50%
03 - SENAI	1,00%
04 - INCRA	0,20%
05 - Salário - Educação	2,50%
06 - Seguros de acidentes no trabalho	3,00%
07 - FGTS	8,00%
08 - SENAI / ADICIONAL	0,20%
09 – SEBRAE	0,60%
Subtotal	37,00%
Grupo II:	
08 - Repouso semanal remunerado	18,22%
09 - Férias / Gratificação Férias	16,66%
10 - Feriados e dias santificados	4,46%
11 – Aviso - prévio	11,00%
12 – Auxílio - enfermidade	1,12%
13 – Acidentes no trabalho	0,11%
14 – Encargos - paternidade	0,93%
Subtotal	52,50%
Grupo III :	
15 - 13º salário	8,33%
16 - Incidência do FGTS sobre o 13º salário	0,89%
17 – Pagamento de 40% por rescisão sem justa causa	3,20%
Subtotal	12,42%
Incidências Cumulativas	
Grupo I sobre Grupo II ($0,37 \times 52,5$)	19,42%
Total	121,34%

Aplicando os descontos em cada item da planilha de custos chegou-se a um valor de desconto de 36,48 %.

Na tabela abaixo é apresentado o custo operacional econômico por km para as alternativas em estudo.

Tabela 7.8 Custo operacional do sistema.

	Custo / Km financeiro (R\$) / Km)	Custo / Km Econômico (R\$) / Km)
Alternativa 0	2,09	1,33
Alternativa 1	2,01	1,28
Alternativa 2	2,23	1,42
Alternativa 3	2,13	1,35

7.5.3 Benefícios

Os benefícios considerados para a avaliação econômica são:

- Redução dos Tempos de Viagem
- Redução dos Custos Operacionais

Os benefícios foram calculados para um ano e começarão a ser contabilizados a partir do 3º ano, época do início da operação. Estes benefícios variam ano a ano, principalmente em função do crescimento vegetativo da demanda. Para este estudo foi considerada uma simplificação de maneira que foi adotado valores constantes para os 15 anos de vida útil do projeto.

a) Redução do Tempo de Viagem

Os benefícios relativos à redução de tempo de viagem referem-se ao melhor desempenho do sistema de transporte com a implantação do projeto e a conseqüente redução dos tempos de viagem.

A quantificação monetária deste benefício exige a valoração do tempo do usuário do sistema. Os valores de tempo considerados no estudo foram obtidos da pesquisa de Preferência Declarada, implementada à época da realização do Estudo de Viabilidade da Linha 2 do Sistema Trensurb. Este estudo contemplou os usuários de ônibus e

automóveis.

A tabela 7.9, a seguir, apresenta os valores de tempo considerados no estudo.

Tabela 7.9 Valores de tempo considerados.

Modo de Transporte	Valor do Tempo – R\$/min
Ônibus	0,018
Automóveis	0,050

Tempo médio gasto para cada alternativa.

O tempo gasto médio por viagem, para cada alternativa, foi extraído do Relatório Final do Plano Diretor, e foi obtido através de simulação das alternativas consideradas.

Tabela 7.10 Tempo gasto pelos usuários (média para o sistema) (minutos)

	Alternativa 0	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Acesso	10,00	10,00	10,00	10,00
Espera	5,16	5,26	4,36	4,56
Viagem	28,53	27,70	25,99	25,43
Total	43,69	42,96	40,35	39,99

Número de passageiros transportados para cada alternativa.

O número de passageiros transportados para cada alternativa foi extraído, também, do Relatório Final do Plano Diretor, e foi obtido através de simulação das alternativas consideradas.

No número de passageiros utilizado já foram considerados os gratuitos e os estudantes.

Tabela 7.11 Número de passageiros transportados (passageiros / mês)

(Valor estimado na simulação)			
Alternativa 0	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
24.409.138	24.385.394	23.163.491	23.108.847

O número de passageiros multiplicado pelo tempo economizado e pelo valor do tempo resulta o montante economizado. Estes valores são mostrados na tabela abaixo.

Tabela 7.12 Valor economizado para cada alternativa

Alternativa	Tempo / viagem (acesso+espera+viagem)	Passageiros transportados / mês	Tempo gasto por mês (minutos)	Economia de Tempo (minutos / mês)	Valor do tempo (R\$ / Minuto)	Valor Economizado (R\$ / mês)
Alternat. 0	43,69	24.409.138	1.066.435.239	0	0,017	0
Alternat. 1	42,96	24.385.394	1.047.596.526	18.838.713	0,017	320.258
Alternat. 2	40,35	23.163.491	934.646.862	131.788.377	0,017	2.240.402
Alternat. 3	39,99	23.108.847	924.122.792	142.312.448	0,017	2.419.312

b) Redução de custos operacionais

A redução de custos operacionais refere-se à melhoria de desempenho do sistema de transporte com a implantação do projeto.

O custo operacional de cada alternativa foi obtido através de planilha de cálculo tarifário fornecida pela Secretaria de Transportes de Porto Alegre. A quilometragem mensal percorrida foi extraída do Relatório Final do Plano Diretor de Transporte e foi obtida através de simulação das alternativas.

A diferença de custo operacional refere-se à comparação entre o custo operacional mensal das alternativas 1,2 e 3 e a alternativa 0.

Tabela 7.13 Diferença de custo operacional

Alternativa	Custo operacional (R\$ / Km)	Quilometragem (Km/mês)	Custo Operacional (R\$ / mês)	Diferença de Custo Operacional (R\$ / mês)
Alternativa 0	1,33	10.516.026	13.986.315	0
Alternativa 1	1,28	10.578.538	13.540.529	445.786
Alternativa 2	1,42	7.847.903	11.144.022	2.842.292
Alternativa 3	1,35	8.452.872	11.411.377	2.574.937

7.5.4 Cálculo dos indicadores

Considerou-se que o custo de implantação de obras civis (viário e terminais) foi dividido em duas parcelas iguais a serem despendidas uma no primeiro e outra no segundo ano. O prazo para implantação das obras é de dois anos.

Os custos referentes à aquisição de frota serão despendidos no segundo ano, pois a frota nova entrará em operação após o término das obras.

Os benefícios foram considerados constantes ao longo dos 15 anos de vida útil do projeto.

A taxa de desconto utilizada para o cálculo do Valor Presente Líquido (VPL) e da Relação Benefício Custo (B/C) foi de 12 %. O fluxo de caixa é apresentado na tabela seguinte.

Tabela 7.14 Fluxo de caixa para cada alternativa

Ano	Alternativa 0		Alternativa 1		Alternativa 2		Alternativa 3	
	Custos	Benefícios	Custos	Benefícios	Custos	Benefícios	Custos	Benefícios
1			(13.428.595)		(17.040.664)		(16.372.945)	
2			(48.349.914)		(43.509.373)		(51.010.589)	
3				8.984.440		50.738.918		49.323.266
4				8.984.440		50.738.918		49.323.266
5				8.984.440		50.738.918		49.323.266
6				8.984.440		50.738.918		49.323.266
7				8.984.440		50.738.918		49.323.266
8				8.984.440		50.738.918		49.323.266
9				8.984.440		50.738.918		49.323.266
10				8.984.440		50.738.918		49.323.266
11				8.984.440		50.738.918		49.323.266
12				8.984.440		50.738.918		49.323.266
13				8.984.440		50.738.918		49.323.266
14				8.984.440		50.738.918		49.323.266
15				8.984.440		50.738.918		49.323.266
16				8.984.440		50.738.918		49.323.266
17				8.984.440		50.738.918		49.323.266

Com o fluxo de caixa apresentado foram calculados os indicadores selecionados:

Tabela 7.15 Resultado do cálculo dos indicadores

	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
TIR	11%	70%	63%
VPL	(1.752.341)	225.590.704	212.520.562
B/C	0.97	5.52	4.84

Observa-se que os três indicadores apontam para a alternativa 2 como a melhor solução.

A taxa de retorno da alternativa 1 é menor que 12 %, a taxa de desconto utilizada, indicando a inviabilidade do projeto. Esta inviabilidade é mostrada também pelo VPL que é negativo e pela relação B/C, que é menor que 1.

As taxas internas de retorno das alternativas 2 e 3 são muito boas, muito superior à

taxa de referência de 12 %. Estes bons resultados são indicados também pelo VPL e pela relação B/C.

Pela análise Benefício / Custo realizada neste capítulo concluímos pela implantação da alternativa 2. Seguindo a metodologia proposta, na próxima etapa será realizada a análise das alternativas através do Método de Análise Hierárquica (AHP).

7.6 Aplicação do Método de Análise Hierárquica

7.6.1 Estruturação da hierarquia

O primeiro passo na aplicação do AHP é a definição de uma estrutura hierárquica representativa do problema decisório. A definição da hierarquia pode ser feita pelo grupo de especialistas que irá participar dos julgamentos. Este procedimento melhora a sensibilidade do grupo, em relação à hierarquia, no momento de realizar os julgamentos, pois as ponderações são feitas comparando-se elementos já conhecidos e discutidos. Neste estudo de caso devido à dificuldade de juntar o grupo de especialistas, uma vez que uma parte encontrava-se em São Paulo e outra em Porto Alegre, a hierarquia foi proposta pelo autor.

Para o problema analisado a hierarquia foi definida em 4 níveis descritos a seguir:

Nível 1 Objetivo da análise: escolha da melhor alternativa.

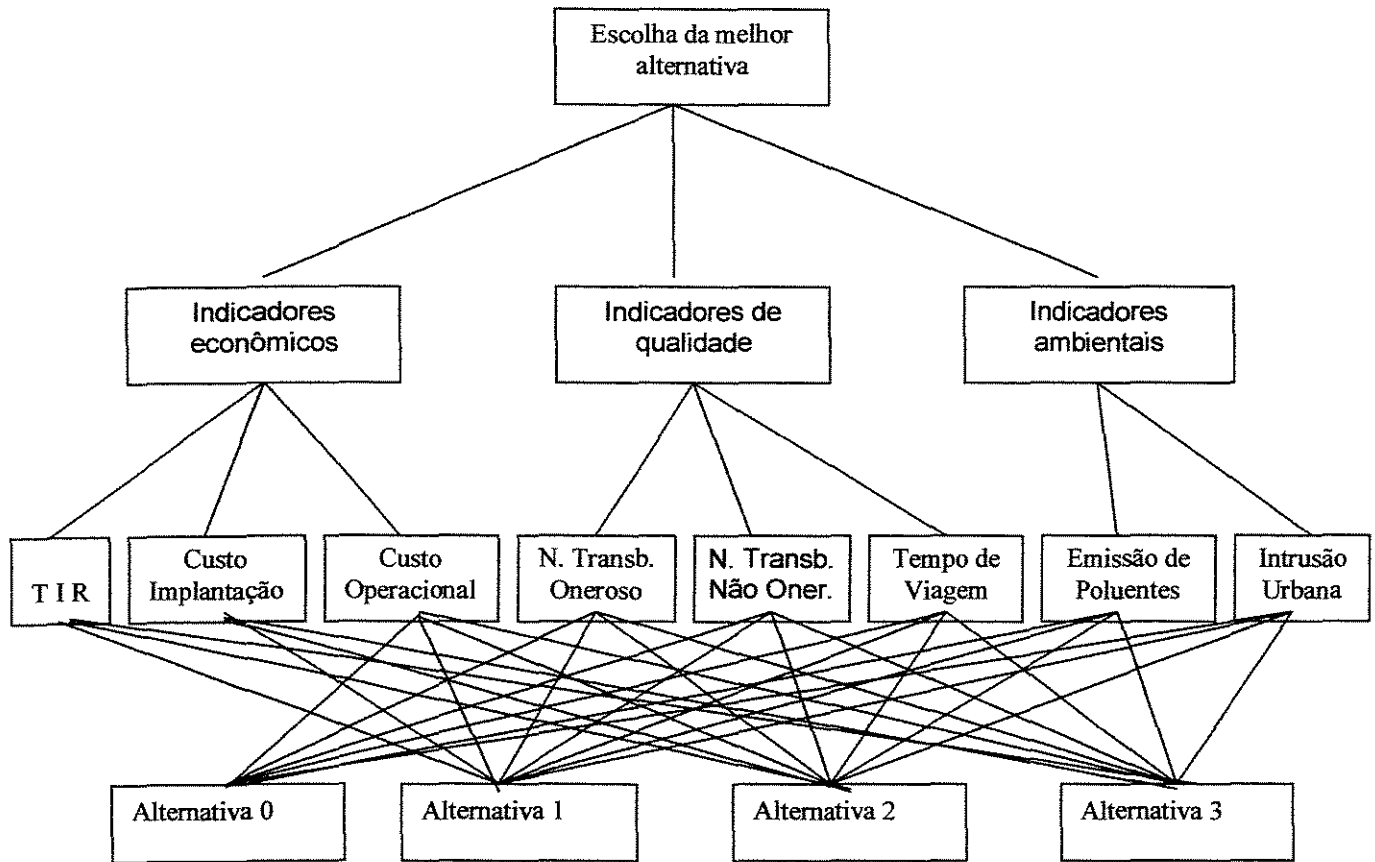
Nível 2 Critérios de avaliação:

Nível 3 Sub critérios de avaliação

Nível 4 Alternativas

A estrutura hierárquica proposta é mostrada na figura 7.1.

Figura 7.1 Estrutura hierárquica proposta



Os critérios de avaliação escolhidos (nível 2) foram: indicadores econômicos, indicadores de qualidade e indicadores ambientais. Entendeu-se que este conjunto de critérios contempla os aspectos mais relevantes para a avaliação proposta.

Sub critérios econômicos: Da análise Benefício Custo foi selecionado o indicador Taxa Interna de Retorno (TIR). Foram ainda considerados o Custo de Implantação e o Custo Operacional. Na avaliação econômica a utilização do VPL complementa as informações da TIR, principalmente por trazer elementos que indicam a escala do empreendimento. No caso analisado as estruturas dos fluxos econômicos ao longo do tempo das diversas alternativas são semelhantes, de modo que os dois indicadores, TIR e VPL, variam no mesmo sentido, mostrando uma forte dependência entre ambos. Assim, decidiu-se por utilizar apenas a TIR para a composição da hierarquia.

Subcritérios de Qualidade: Foram escolhidos. tempo de viagem (tempo de acesso +

tempo de espera + tempo de viagem no veículo), número de transbordos onerosos e número de transbordos não onerosos. O número de transbordos é um indicador, particularmente para este estudo de caso, muito importante, por haver uma forte rejeição na cidade por esquemas operacionais que utilizam integração e transbordo, devido a uma experiência negativa ocorrida no passado.

Outros indicadores de qualidade poderiam ser definidos. No entanto, devido ao fato das alternativas trabalharem com o mesmo padrão de frota, optou-se pela utilização apenas do tempo de viagem e do número de transbordos.

Subcritérios Ambientais: Foram selecionados a emissão de poluentes e a intrusão urbana. A emissão de poluentes foi considerada proporcional à frota em circulação para cada alternativa. O subcritério intrusão urbana buscou incorporar o impacto que a implantação de novos equipamentos (corredores e terminais) causam na paisagem urbana.

7.6.2 Obtenção dos julgamentos

Os julgamentos foram obtidos a partir do trabalho de um grupo de especialistas composto por técnicos da Secretaria Municipal de Transportes de Porto Alegre, em número de 7, e técnicos da empresa de consultoria que participou da elaboração do Plano de Diretor de Transporte Coletivo, em número de 3. Os primeiros contatos com o grupo e as explicações sobre o processo que estavam inseridos foram feitos por telefone. Em seguida os participantes receberam os questionários, responderam e devolveram através de correspondência. A consistência das respostas foram analisadas e os problemas discutidos com os participantes do grupo. Assim, foram necessários alguns retornos e novos preenchimentos até que se chegasse a resultados satisfatórios.

Dentre os 8 subcritérios escolhidos apenas na avaliação da intrusão urbana foi utilizado julgamento dos especialistas. Para os indicadores econômicos os valores foram obtidos da avaliação Benefício Custo, realizada anteriormente. Para os indicadores de

qualidade e o indicador ambiental emissão de poluentes os valores foram obtidos a partir dos resultados de um modelo de simulação.

Para a avaliação da importância relativa entre os subcritérios de cada critério foram utilizados julgamentos dos especialistas.

Para a avaliação da importância relativa entre os critérios para a escolha da melhor alternativa (objetivo global) também foram utilizados julgamentos dos especialistas.

No anexo II são apresentados os questionários aplicados ao grupo de especialistas.

a) Resultados das matrizes de comparação obtidas a partir dos julgamentos do grupo

A tabulação das respostas obtidas nos questionários aplicados ao grupo de especialistas resultou em matrizes individuais para os elementos da hierarquia. O procedimento para agregar as matrizes individuais é sugerido por Saaty (1991) como sendo a média geométrica, por ser mais adequada. Assim, cada elemento das matrizes de comparação utilizadas no AHP é resultado da média geométrica dos elementos das matrizes individuais.

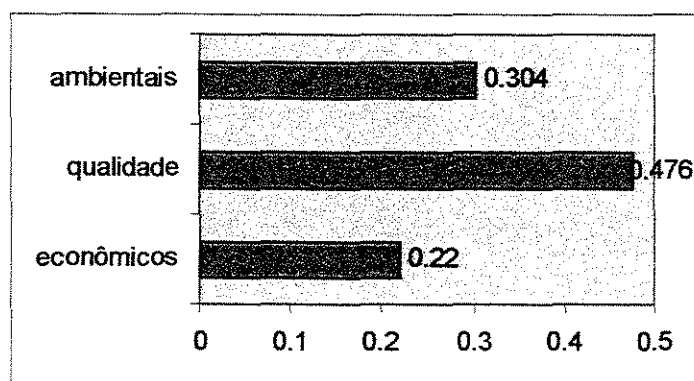
a) Comparação entre os três grupos de indicadores

Critérios: indicadores econômicos,
Indicadores de qualidade,
Indicadores ambientais.

A matriz gerada a partir das médias geométricas dos julgamentos do grupo é apresentada a seguir.

	Indic. Econômicos	Indic. Qualidade	Indic. Ambientais
Indic. Econômicos	1	1/2	2/3
Indic. Qualidade		1	5/3
Indic. Ambientais			1

A matriz foi utilizada para alimentar o software “Expert Choice”, que produziu a seguinte priorização:



Observa-se que os indicadores de qualidade foram considerados os mais importantes, o grupo de indicadores ambientais ficou em segundo e os econômicos em terceiro.

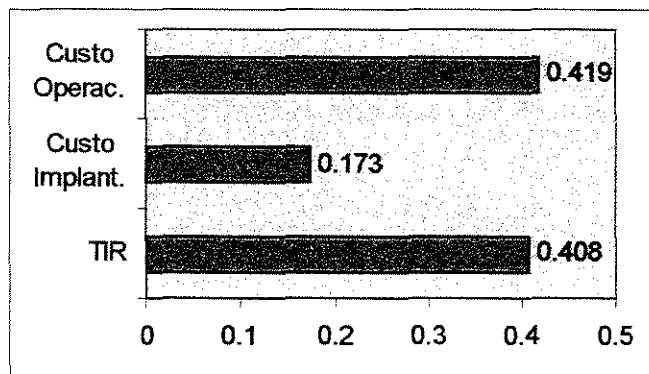
b) Subcritérios econômicos

Nesta matriz de comparação são mostradas as relações de importância entre os subcritérios econômicos (T.I.R., custo de implantação e custo de operação). A matriz obtida a partir das médias geométricas dos julgamentos do grupo é apresentada a seguir.

	T.I.R.	Custo Implantação	Custo de Operação
T.I.R.	1	7/3	1
Custo Implantação		1	2/5
Custo de Operação			1

A matriz foi utilizada para alimentar o software “Expert Choice”, que produziu a seguinte

priorização:



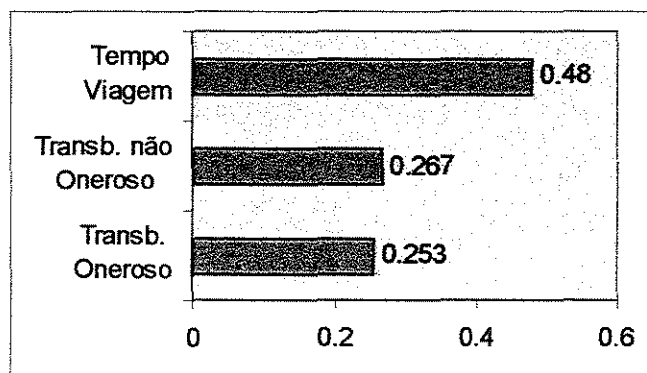
O custo de operação foi considerado o indicador mais importante, com resultado bem próximo da TIR. O custo de implantação foi considerado bem menos importante.

c) Subcritérios de qualidade

Os indicadores de qualidade foram comparados entre si. A matriz de comparação obtida através das médias geométricas dos julgamentos do grupo é apresentada a seguir.

	N.Transb.Oneroso	N.Transb.não Oneroso	Tempo de viagem
N.Transb.Oneroso.	1	1	1/2
N.Transb.não Oneroso		1	3/5
Tempo de viagem			1

Com esta matriz o “Expert Choice” produziu a seguinte priorização.



O tempo de viagem foi considerado o indicador mais importante, ficando em segundo o número de transbordos não onerosos e, por último, o número de transbordos onerosos. Os indicadores número de transbordos onerosos e não onerosos ficaram praticamente empatados.

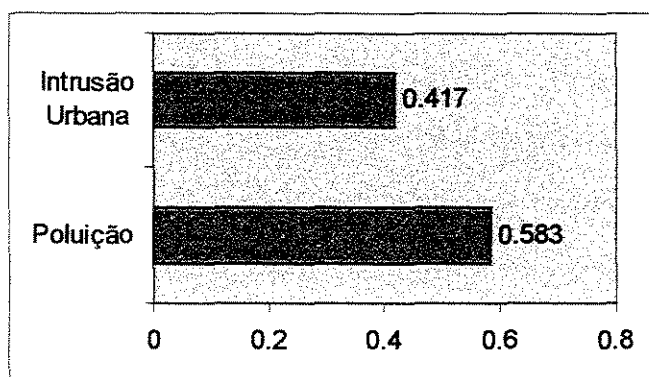
Os resultados mostram uma maior preocupação do grupo com o tempo de viagem, independente de haver transbordos ou não, e mesmo se são pagos ou não.

c) Subcritérios ambientais

Os indicadores ambientais são apenas dois, resultando numa matriz simplificada, que é apresentada a seguir.

	Poluição Ambiental	Intrusão Urbana
Poluição Ambiental	1	11/8
Intrusão Urbana		1

A priorização obtida é a seguinte:



A poluição ambiental foi considerada mais importante que a intrusão urbana.

Obtenção das prioridades a partir de dados

O “Expert Choice” permite a entrada de dados numéricos diretamente. Os dados numéricos das alternativas referentes aos subcritérios foram obtidos de fontes diferentes: A TIR (taxa interna de retorno), o custo de implantação e custo operacional foram obtidos a partir da avaliação econômica. O número de transbordos onerosos, o número de transbordos não onerosos, o tempo de viagem e o nível de poluição ambiental foram obtidos a partir dos resultados de um modelo de simulação. A intrusão urbana foi avaliada a partir de julgamentos do grupo de especialistas.

e) TIR (taxa interna de retorno)

Os valores obtidos a partir da análise B/C foram os seguintes:

Alternativa 0 = inexistente

Alternativa 1 = 11 %

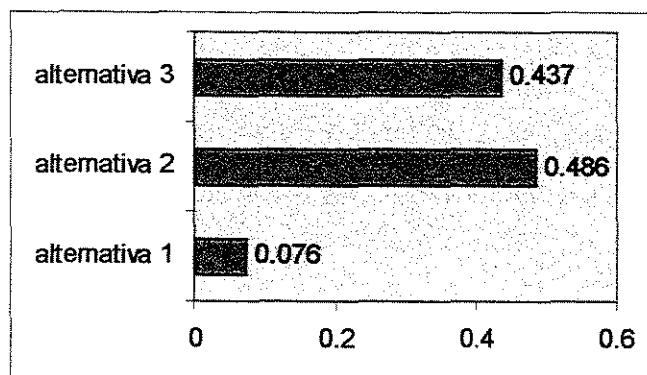
Alternativa 2 = 70 %

Alternativa 3 = 63 %

A alternativa 0 é a hipótese de não fazer nada, ou seja, permanecer a situação atual. Assim, não existe TIR para a alternativa 0 uma vez que não existe um fluxo de caixa (custos e benefícios) para configurar um projeto que pudesse ser analisado.

Na hierarquia do AHP a ligação entre o subcritério TIR e a alternativa 0 não existe, indicando que esta alternativa não será analisada segundo este critério.

As prioridades obtidas a partir da entrada com os valores da TIR de cada alternativa no “Expert Choice” são apresentadas a seguir.



As alternativas 2 e 3 têm bons resultados de Taxa Interna de Retorno. A alternativa 1 tem desempenho fraco.

f) Custo de implantação:

Os valores de custo de implantação obtidos na análise B/C são os seguintes

Alternativa 0 = inexistente.

Alternativa 1 = R\$ 61.778.500,00

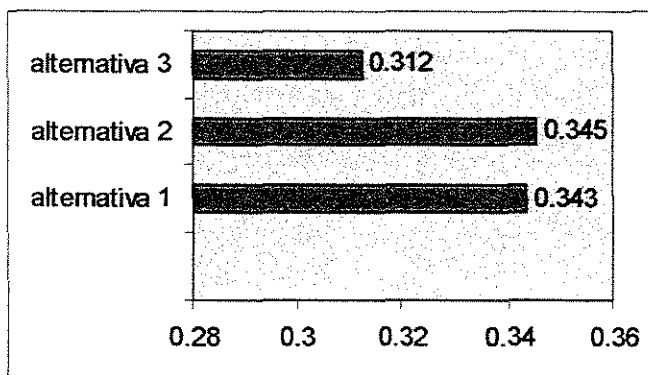
Alternativa 2 = R\$ 60.791.690 00

Alternativa 3 = R\$ 67.383.533,00

O mesmo raciocínio realizado no item anterior, para a TIR, vale para o Custo de Implantação. A alternativa 0 não possui custo de implantação o que reflete na hierarquia pela inexistência de ligação entre a caixa da alternativa 0 e a caixa do critério Custo de Implantação.

Conceitualmente, poderia se considerar o custo de implantação da alternativa 0 como sendo 0. Isto, no entanto, distorceria a avaliação pois representaria uma atração muito grande para a alternativa 0 em comparação com as outras.

As prioridades obtidas a partir da entrada com os valores do Custo de Implantação de cada alternativa no "Expert Choice" são apresentadas a seguir.



As alternativas 1 e 2 têm custos iniciais muito parecidos, enquanto a alternativa 3 necessita de maiores investimentos.

g) Custo operacional:

Os valores de custo operacional obtidos na análise B/C são os seguintes

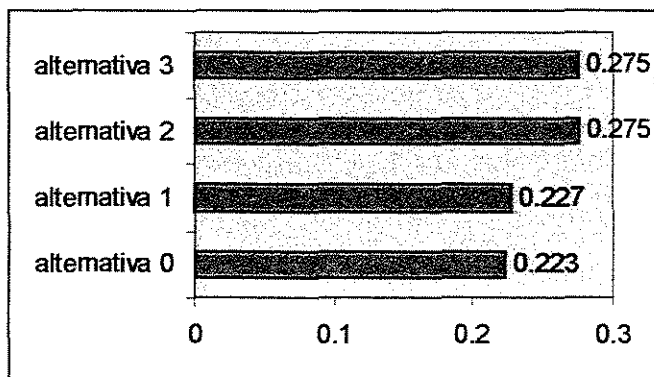
Alternativa 0 = 13.986.315,00 R\$ / mês

Alternativa 1 = 13.540.529,00 R\$ / mês

Alternativa 2 = 11.144.022,00 R\$ / mês

Alternativa 3 = 11.411.377,00 R\$ / mês

As prioridades obtidas a partir da entrada com os valores do Custo Operacional de cada alternativa no “Expert Choice” são apresentadas a seguir.



As alternativa 2 e 3 têm resultados parecidos, melhores que os resultados das

alternativas 0 e 1.

h) Número de transbordos onerosos:

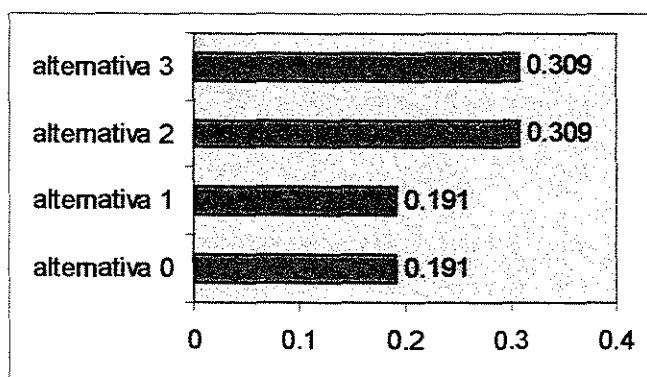
Alternativa 0 = 23.125

Alternativa 1 = 23.120

Alternativa 2 = 14.212

Alternativa 3 = 14.262

As prioridades obtidas a partir da entrada com os valores do *Número de Transbordos Onerosos* de cada alternativa no "Expert Choice" são apresentadas a seguir.



A simulação realizada considerou que as integrações nos terminais seriam todas sem acréscimo tarifário. Assim, as alternativas 2 e 3 tem melhores resultados que a 1 e a 0, devido ao novo esquema operacional contemplar usuários que atualmente pagam duas passagens.

i) Número de transbordos não onerosos:

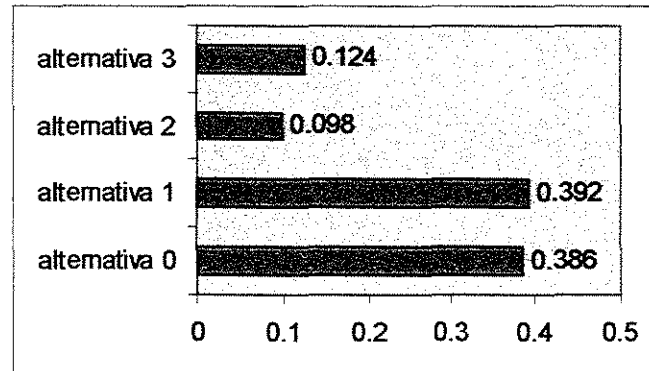
Alternativa 0 = 9.800

Alternativa 1 = 9.510

Alternativa 2 = 38.212

Alternativa 3 = 30.140

As prioridades obtidas a partir da entrada com os valores do *Número de Transbordos não Onerosos* de cada alternativa no “Expert Choice” são apresentadas a seguir.



As alternativas 2 e 3 tem resultados ruins devido ao fato de adotarem o modelo tronco alimentado, que pressupõe uma grande quantidade de transbordos não onerosos.

j) Tempo de viagem (minutos):

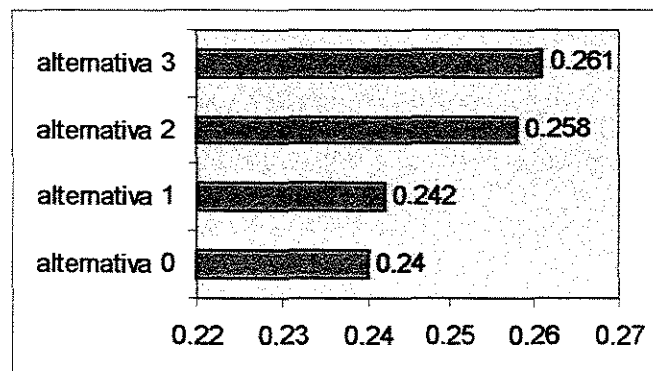
Alternativa 0 = 43,69

Alternativa 1 = 42,96

Alternativa 2 = 40,35

Alternativa 3 = 39,99

As prioridades obtidas a partir da entrada com os valores do *Tempo de Viagem* de cada alternativa no “Expert Choice” são apresentadas a seguir.



A redução do tempo de viagem devido à implantação de qualquer uma das três alternativas de projeto é relativamente pequena.

As alternativas 2 e 3 obtem uma melhora no desempenho devido ao novo modelo tronco alimentado.

k) Emissão de poluentes

A adoção de uma medida para avaliar as alternativas em relação a este critério é de difícil equacionamento devido ao fato da poluição depender de uma série de fatores que não estão sob controle.

Foi escolhido como representante da emissão de poluentes a frota operacional total de cada alternativa. Dado que todas as alternativas vão atender a mesma demanda, o número de veículos reflete a eficiência do modelo adotado e, principalmente, a velocidade operacional média do sistema. Por outro lado, o veículo é a unidade poluidora.

A frota de cada alternativa é apresentada abaixo.

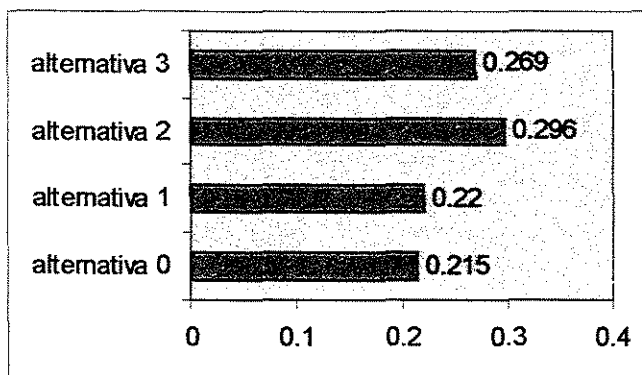
Alternativa 0 = 1785

Alternativa 1 = 1713

Alternativa 2 = 1282

Alternativa 3 = 1412

As prioridades obtidas a partir da entrada com os valores da frota (variável representativa da nível de emissão de poluentes) de cada alternativa no “Expert Choice” são apresentadas a seguir.



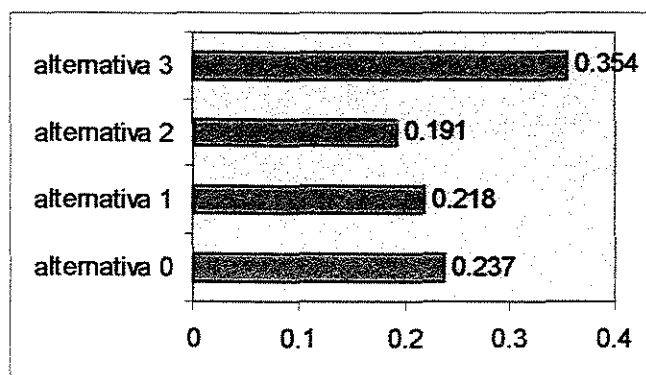
I) Intrusão Urbana.

A avaliação das alternativas em relação a este subcritério foi feita através dos julgamentos do grupo.

A matriz de comparação resultante das médias geométricas dos julgamentos é apresentada a seguir.

	Alternativa 0	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Alternativa 0	1	8/9	14/9	5/8
Alternativa 1		1	6/5	1/2
Alternativa 2			1	5/7
Alternativa 3				1

Os resultados obtidos a partir do "Expert Choice" são os seguintes:

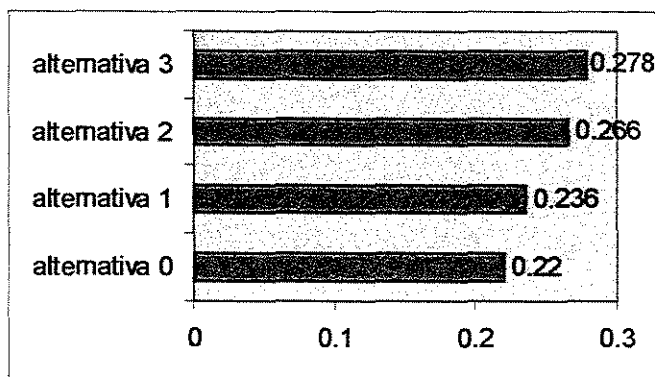


O conceito de intrusão urbana utilizado inicialmente foi o quanto a intervenção física de cada alternativa causaria impacto negativo na paisagem urbana. No processo de julgamento o grupo entendeu que o impacto na paisagem urbana causado por um sistema de ônibus mal organizado é maior que o impacto das intervenções físicas e deu preferência para a alternativa 3 que tem um alto grau de intervenção física.

7.6.3 Resultado final

A partir das prioridades obtidas de cada matriz de comparação o “Expert Choice” fez a composição para a hierarquia inteira. Foi escolhido o “modo Ideal” para a composição da priorização final pois o objetivo do problema decisório é escolher a melhor alternativa dentro do conjunto.

O resultado final obtido a partir do “Expert Choice” é mostrado a seguir:



A alternativa 3 foi a melhor colocada, seguida pela alternativa 2, pela alternativa 1 e, por último a alternativa 0, opção de não implantar nenhum projeto.

A tabela 7.16 mostra um resumo dos resultados obtidos na aplicação do Método de Análise Hierárquica.

Tabela 7.16 Resumo dos resultados da aplicação do AHP

	Indicadores Econômicos 0.220			Indicadores Qualidade 0.476			Indicadores Ambientais 0.304	
	TIR 0.408	Custo Implant.. 0.173	Custo operac.. 0.419	N: Transb onerosos 0.253	N.transb. não oner.. 0.267	Tempo Viagem 0.480	Emissão poluentes 0.583	Intrusão urbana 0.417
Alternativa 0	-	-	0.223	0.191	0.386	0.240	0.215	0.237
Alternativa 1	0.076	0.343	0.227	0.191	0.392	0.242	0.220	0.218
Alternativa 2	0.486	0.345	0.275	0.309	0.098	0.258	0.296	0.191
Alternativa 3	0.437	0.312	0.275	0.309	0.124	0.261	0.269	0.354

Obs: Os números em negrito representam o valor obtido pela alternativa de melhor desempenho em cada item.

A alternativa 2 apresenta melhores resultados em 5 dos 8 itens analisados, enquanto que a alternativa 3 vence em 4 itens. No entanto, a alternativa 2 tem seus melhores resultados nos indicadores econômicos, que são os menos importantes (0.220), segundo avaliação do grupo de especialistas. Os indicadores mais importantes são os de qualidade (0.476), seguido pelos ambientais (0.304), nos quais a alternativa 3 tem melhor desempenho, o que justifica o resultado final favorável à esta alternativa.

A análise B/C selecionou a alternativa 2 como a melhor colocada. O resultado diferente obtido na aplicação do AHP indica que a Alternativa 3 teve melhor desempenho na composição geral dos critérios. A análise de sensibilidade ajuda a entender melhor como se comportaram as variáveis que explicam o resultado obtido.

No quadro 7.4, gerado pelo “Expert Choice”, são mostrados os pesos atribuídos aos critérios, aos subcritérios e os valores da composição das prioridades pelo “modo ideal”.

Quadro 7.4 Composição das prioridades pelo “modo ideal”.

MELHOR ALTERNATIVA**Synthesis of Leaf Nodes with respect to GOAL**

Ideal Mode

OVERALL INDEX = 0.0

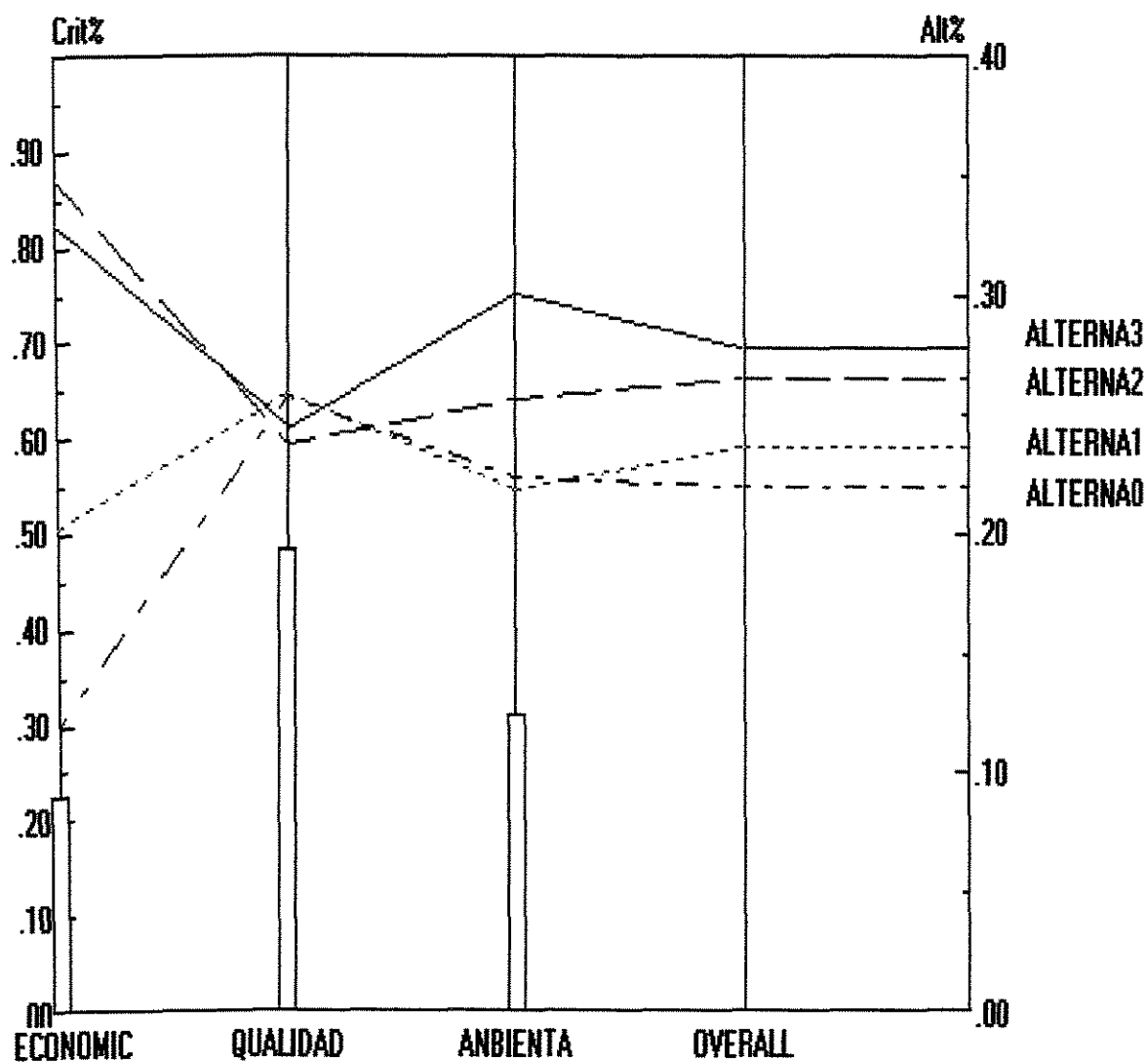
LEVEL 1	LEVEL 2	LEVEL 3	LEVEL 4	LEVEL 5
QUALIDADE = 476				
	T. VIAGEM = 228			
		ALTERN3 = 228		
		ALTERN2 = 226		
		ALTERN1 = 212		
		ALTERN0 = 210		
	TR. N. O. NE = 127			
		ALTERN1 = 127		
		ALTERN0 = 125		
		ALTERN3 = 040		
		ALTERN2 = 032		
	TR. O. NERO = 121			
		ALTERN3 = 121		
		ALTERN2 = 121		
		ALTERN1 = 074		
		ALTERN0 = 074		
ANBIENTA = 304				
	PO. LU. CAO = 177			
		ALTERN2 = 177		
		ALTERN3 = 161		
		ALTERN1 = 131		
		ALTERN0 = 129		
	I. NT. URBA = 127			
		ALTERN3 = 127		
		ALTERN0 = 085		
		ALTERN1 = 078		
		ALTERN2 = 068		
ECO. NO. M. I. C. = 220				
	C. O. PERAC = 092			
		ALTERN3 = 092		
		ALTERN2 = 092		
		ALTERN1 = 076		
		ALTERN0 = 075		
	TI. R. = 090			
		ALTERN2 = 090		
		ALTERN3 = 081		
		ALTERN1 = 014		
	C. I. NPLAN = 038			
		ALTERN2 = 038		
		ALTERN1 = 038		
		ALTERN3 = 034		

7.6.4 Análise de Sensibilidade.

A análise de sensibilidade tem o objetivo de mostrar as variações nos resultados a partir de variações nas variáveis envolvidas de modo a se obter maior segurança em relação aos resultados obtidos.

O gráfico 7.1 mostra o comportamento das alternativas em cada critério e o resultado final. As barras indicam a prioridade de cada critério em relação ao objetivo global e as linhas representam o desempenho de cada alternativa em cada critério e o resultado final.

Gráfico 7.1 Análise de sensibilidade – situação inicial



Abreviation	Definition
ECONOMIC	INDICADORES ECONOMICOS
QUALIDAD	INDICADORES DE QUALIDADE
AMBIENTA	INDICADORES AMBIENTAIS
ALTERNA3	TROCALIZACAO FLEXIVEL
ALTERNA2	TRANCALIZACAO RADICAL
ALTERNA1	PRIORIDADE NO SISTEMA VIARIO
ALTERNA0	SITUACAO ATUAL

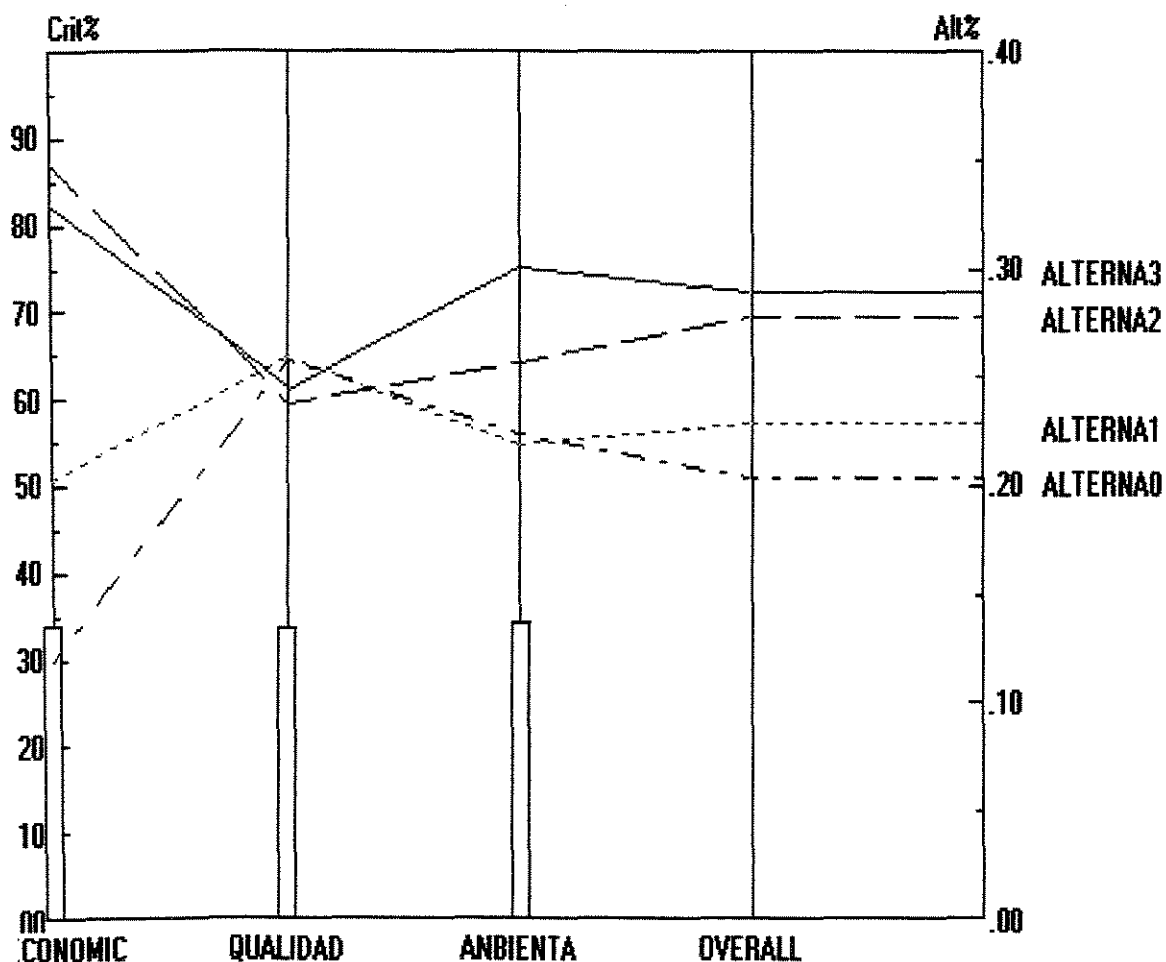
As alternativas 2 e 3 apresentam bom desempenho nos indicadores econômicos devido ao alto grau de racionalização do sistema que proporcionam. No entanto, as duas têm desempenho fraco nos indicadores de qualidade, devido ao fato de apresentarem grande número de transbordos, mas não ficam muito distante das demais alternativas. Nos indicadores ambientais novamente as alternativas 2 e 3 se saem melhor, a alternativa 2 devido à baixa emissão de poluentes pela frota mais otimizada e a alternativa 3 devido à uma intrusão urbana menor.

Nota-se que o fato dos indicadores de qualidade terem o maior peso e os indicadores ambientais terem o segundo maior peso, ficando os indicadores econômicos por último, contribuí para que a alternativa 2, que tem desempenho alto nos indicadores econômicos ficasse com a segunda colocação geral.

A primeira variação a ser analisada é o resultado no caso dos indicadores econômicos, de qualidade e ambientais terem os mesmos pesos, 1/3 para cada um.

O gráfico 7.2 ilustra esta situação.

Gráfico 7.2 Análise de sensibilidade – situação 1

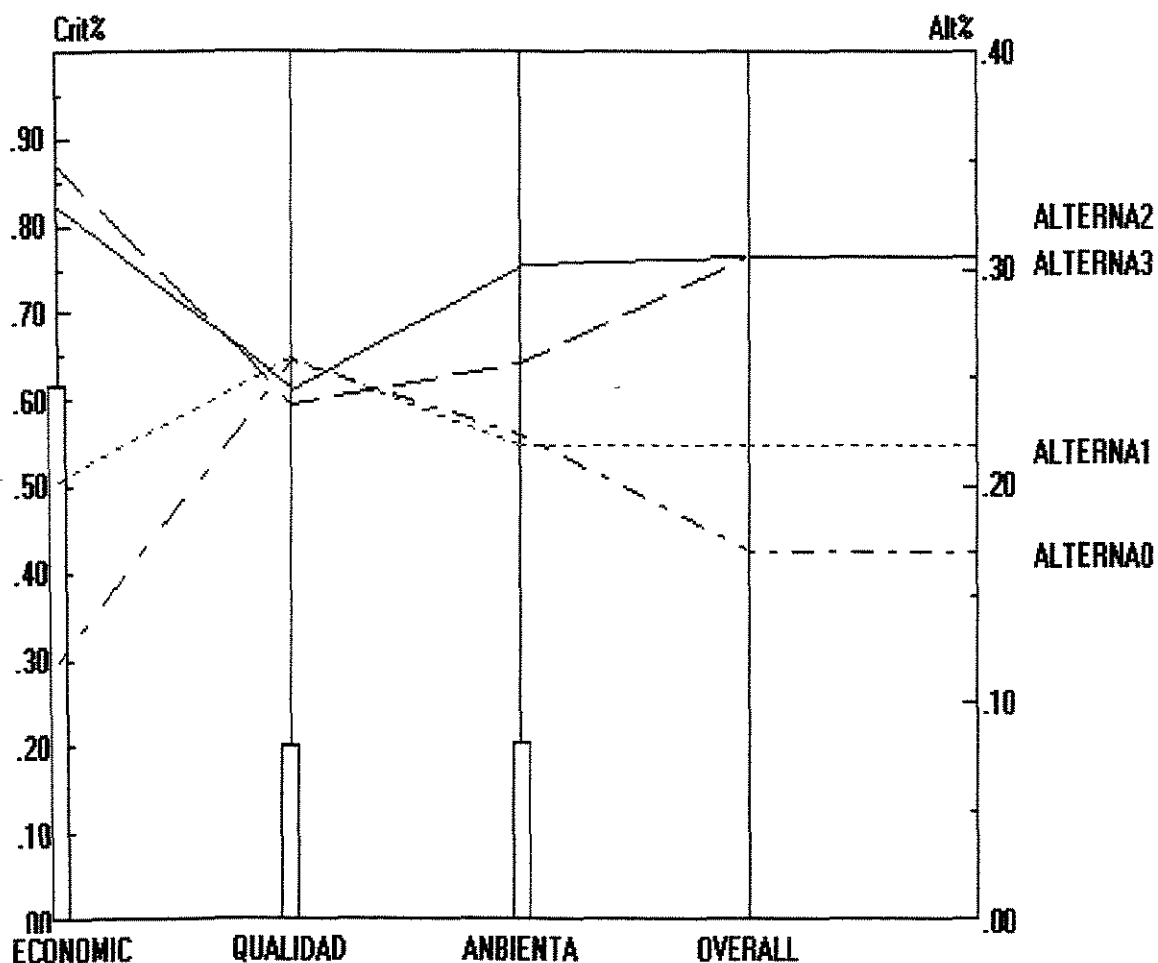


Abreviação	Definição
ECONOMIA	INDICADOR RES ECONÓMICO
QUALIDADE	INDICADOR RES DE QUALIDADE
AMBIENTA	INDICADOR RES AMBIENTAIS
ALTERNA3	TROCALIZAÇÃO FLEXÍVEL
ALTERNA2	TRANCALIZAÇÃO RADICAL
ALTERNA1	PRIORIDADE NO SISTEMA VIÁRIO
ALTERNA0	SITUAÇÃO ATUAL

Observa-se que a alternativa 3 continua sendo a melhor opção, mostrando que apresenta bom desempenho nos diversos critérios. O ordenamento das quatro alternativas também não se alterou, no entanto, as distâncias entre elas aumentaram.

A segunda variação a ser analisada é a seguinte: considerados pesos iguais para os indicadores de qualidade e ambientais, qual seria o comportamento necessário do peso dos indicadores econômicos para que a alternativa 2 obtivesse a melhor colocação. O gráfico 7.3 ilustra esta situação.

Gráfico 7.3 Análise de sensibilidade – situação 2



Abreviatura	Definição
ECONOMIA	INDICADOR ECONÓMICO
QUALIDADE	INDICADOR DE QUALIDADE
AMBIENTA	INDICADOR AMBIENTAIS
ALTERNAS	TROCALIZAÇÃO FLEXÍVEL
ALTERNAS	TRANCALIZAÇÃO RÁPIDA
ALTERNAS	PRIORIDADE NO SISTEMA VARIADO
ALTERNAS	SITUAÇÃO ATUAL

O peso necessário para o critério indicadores econômicos, para que a alternativa 2 passasse para a primeira colocação, seria de 0.650 contra 0.175 para os outros dois. Ou seja, seria necessário que houvesse uma priorização muito grande dos indicadores econômicos para que a alternativa 2 fosse considerada a melhor opção.

Assim, a colocação da alternativa 3 em primeira posição mostra-se bastante consistente.

8 Conclusões e Recomendações

As decisões no setor de transportes tratam com questões de grande importância econômica e social, seja pelo montante de recursos envolvidos, seja pela função social que desempenham, uma vez que interferem diretamente na qualidade de vida da população.

A avaliação de projetos de transporte tem sido feita através da tradicional metodologia Benefício Custo, cujo enfoque estritamente econômico tem sido amplamente criticado pelas suas limitações, particularmente a necessidade de monetarização da mensuração das variáveis para que sejam consideradas na análise. Os métodos de análise multicriterial possuem mecanismos que resolvem estas limitações e têm sido utilizados como ferramenta alternativa à análise Benefício Custo. No entanto, a medida do desempenho econômico fornecida pela análise Benefício Custo é bastante útil e se faz necessária, principalmente nas avaliações realizadas no contexto de pedidos de financiamentos para organismos nacionais e internacionais.

Assim, o procedimento proposto buscou ressaltar as qualidades dos dois métodos, fazendo-se primeiramente a avaliação Benefício Custo e em seguida a avaliação multicriterial, através do Método de Análise Hierárquica, utilizando os resultados da análise Benefício Custo e contemplando outras variáveis que complementam a análise.

A aplicação da metodologia proposta na avaliação de quatro alternativas de projeto para a cidade de Porto Alegre mostrou que a abordagem indicada é adequada para este tipo de análise. O resultado obtido na avaliação econômica (Benefício Custo) priorizou a alternativa de *troncalização radical*, que realmente possui os melhores indicadores de desempenho operacional e econômico. A análise multicriterial, que

incluiu aspectos relacionados à qualidade dos serviços e impactos ambientais colocou na melhor posição a alternativa chamada *troncalização flexível*, que ocupava a segunda posição na avaliação econômica, mas que mostrou melhor desempenho nos outros indicadores.

Na aplicação da análise Benefício Custo foram considerados os benefícios referentes à economia do tempo dos usuários e redução do custo operacional do sistema. Outras variáveis como economia com redução de acidentes de trânsito e diminuição da poluição não foram consideradas pela dificuldade de mensuração destas variáveis nas alternativas, bem como a dificuldade na valoração monetária da mensuração das variáveis.

Outra dificuldade encontrada foi na aplicação do conceito de preços sociais para a elaboração da análise Benefício Custo. A adequação dos preços foi feita através da retirada dos impostos em todos os preços utilizados.

Na aplicação da análise multicriterial o Método de Análise Hierárquica mostrou-se bastante flexível ao permitir a inclusão de variáveis de difícil quantificação monetária, como número de transbordos, emissão de poluentes e intrusão urbana, além de permitir a atribuição de pesos às diversas variáveis, o que explicita o ponto de vista dos decisores em relação a importância dada aos critérios utilizados.

A obtenção dos julgamentos dos especialistas foi feita através de questionários devido à dificuldade de juntá-los, uma vez que estavam divididos entre duas cidades distantes uma da outra. O principal problema ocorrido foi a dificuldade em obter consistência nas matrizes de comparação individuais. Em alguns casos foi necessário mais de um retorno do questionário para que o especialista conseguisse fornecer uma matriz consistente. Mesmo com matrizes individuais inconsistentes a matriz final obtida através da média geométrica dos elementos mostrou boa consistência. A comparação entre o resultado final da avaliação das alternativas realizada com as primeiras matrizes obtidas dos especialistas, parte delas com Relação de Consistência maiores que 0.1, e o

resultado final da avaliação realizada com as matrizes individuais revisadas, mostrou diferenças pouco significativas, não alterando o ordenamento das alternativas.

O software “Expert Choice” utilizado para a aplicação do Método de Análise Hierárquica mostrou ser de fácil utilização, tendo interface amigável e recursos que permitem a elaboração de toda a análise de decisão, desde a montagem da hierarquia, entrada dos julgamentos ou dados numéricos, ordenamento final das alternativas e análise de sensibilidade.

O software possui vários mecanismos para análise de sensibilidade o que possibilitou uma avaliação bastante completa da robustez do resultado obtido, podendo-se dizer que a alternativa 3 “troncalização flexível”, considerada a melhor alternativa só deixaria de ser a primeira colocada caso houvesse alterações muito significativas nas variáveis consideradas.

A análise multicriterial adotada utilizou julgamento de especialistas como artifício para incluir, na avaliação, variáveis de difícil quantificação monetária. Este procedimento possibilitou uma avaliação abrangente pois permitiu a incorporação de diversos enfoques considerados importantes para o estudo do problema. No estudo de caso foi utilizado um grupo de especialistas compostos por técnicos da Secretaria de Transportes de Porto Alegre e técnicos da empresa de consultoria que participou da elaboração do Plano Diretor de Transportes para a cidade. Isto significa que o resultado final obtido está muito condicionado a opinião técnica do grupo. Uma ampliação no espectro de opiniões que compõem os julgamentos dos elementos considerados poderia resultar em soluções mais representativas da opinião da sociedade, em relação às alternativas avaliadas. Assim, uma sugestão de continuidade deste trabalho é o estudo de mecanismos que possibilitem a incorporação das opiniões de outros setores sociais (e não somente os técnicos) no processo de avaliação das alternativas. Um caminho para a obtenção dos julgamentos através de consulta de setores sociais mais amplos poderia ser a utilização de pesquisa qualitativa, onde através de entrevistas com pequenos grupos, representando amostras dos setores sociais pré definidos,

seriam obtidas suas preferências em relação ao problema decisório em questão.

A principal limitação da análise Benefício Custo é exatamente o fato desta sobrepor o aspecto econômico em detrimento de outros critérios na escolha das alternativas. A análise multicriterial possibilita a inclusão de outros enfoques, além do econômico, mas no procedimento proposto neste trabalho continuamos com uma análise estritamente técnica. Assim, a incorporação, na análise, de outros atores como: os usuários do sistema, a comunidade afetada pelo empreendimento, a sociedade em geral, comerciantes interessados e/ou afetados pelo empreendimento, universidade, etc, poderia gerar soluções que tivessem o compromisso de aceitação muito mais amplo e portanto a apoio de todos os setores interessados.

9 Referências Bibliográficas

BUARQUE, C., 1991, **Avaliação Econômica de Projetos**, 6ª ed., Rio de Janeiro, RJ, Brasil, Editora Campus.

CONTADOR, C..R., 1997, **Projetos Sociais**, 3ª ed., São Paulo, SP, Brasil, Editora Atlas.

DYER, J.S., 1990, Remarks on the Analytic Hierarchy Process, **Management Science**, v. 36, n. 3, march, pp. 249-258.

DYER, J.S., 1990, A Clarification of Remarks on the Analytic Hierarchy Process, **Management Science**, v. 36, n. 3, march, pp. 274-275.

EHRLICH, P.J., 1986 **Engenharia Econômica: Avaliação e Seleção de Projetos de Investimentos**, 4ª ed, São Paulo, SP, Brasil, Editora Atlas

FORTES, J:A.A .S., PAIVA, J.S., 1993, Uma Discussão Teórica Sobre a Metodologia de Avaliação Econômica de Projetos de Transportes Urbanos, **Anais do VII Encontro da Associação Nacional de Ensino e Pesquisa em Transportes**.

GOMES, L.F.A.M, 1993, Princípios Básicos de Auxílio Multicritério à Decisão, **Revista de Transporte e Tecnologia**, Ano VI, n.11, julho, Campina Grande, PB, Brasil.

HARKER, P.T., VARGAS, L.G., 1990, Reply to "Remarks on the Analytic Hierarchy Process" by J.S.Dyer, **Management Science**, v. 36, n. 3, march, pp. 269-273

- LIEBERMAN, E.R., 1991, "Soviet Multi-Objective Mathematical Programming Methods: An Overview", **Management Science**, v. 37, n. 9, sep., pp. 1147-1165.
- MISHAN, E.J., 1975, **Análise de Custos-Benefícios. Uma Introdução Informal**, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, Zahar editores.
- MELO, J.C., 1986, **Planejamento de Transportes Urbanos**, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, Editora Campus.
- MORITA, H., 1998, **Revisão do Método de Análise Hierárquica (MAH)**, Tese M.Sc. EPUSP, São Paulo, SP, Brasil.
- MOUETTE, D., 1993, **Utilização do Método de Análise Hierárquica no Processo de Tomada de Decisão no Planejamento de Transporte Urbano : Uma Análise Voltada aos Impactos Ambientais**, Tese M.Sc. UNICAMP, Campinas, SP, Brasil.
- NIJKAMP, P., BLAAS, E., **Impact Assessment and Evaluation in Transportation Planning**, Dordrecht, The Netherlands, Kluwer Academic Publishers.
- PENTEADO, A. M., 1973, **Avaliação e Seleção de Projetos**, Monografia, Estudos ANPES, n. 23, São Paulo, SP, Brasil.
- POMERANZ, L., 1988, **Elaboração e Análise de Projetos**. 2ª ed. São Paulo, SP, Brasil, Hucitec.
- POMERANZ, L., 1992, **Análise de Projetos Públicos. Metodologia Alternativa**. Monografia, IPEA, FEA, USP. São Paulo, SP, Brasil.
- PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE, 1999, **Plano Diretor de Transportes Públicos Coletivos do Município de Porto Alegre**, Relatório técnico, Porto Alegre, RS, Brasil.

ROCHA, J.G.C., 1982, Critérios para Avaliação de Projetos de Transporte Urbano, **Revista dos Transportes Públicos**, ANTP, ano 5, n. 19, março, 1983.

RODRIGUES, F.A. H., 1995, **Sistema Multicriterial Dinâmico para Avaliação de Alternativas de Transporte**, Tese de Doutorado, PET/COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

SAATY, T.L., 1990, An Exposition of the AHP in Reply to the Paper *Remarks on the Analytic Hierarchy Process*, **Management Science**, v. 36, n. 3, march, pp. 259-268.

SAATY, T.L., 1991, **Método de Análise Hierárquica**, 1ª ed., São Paulo, SP, Brasil, McGraw Hill / Makron Books.

SAATY, T.L., FORMAN, E.H., FORMAN, M. et al., 1995, **Expert Choice for Windows**, User Manual, Version 9.0, Pittsburgh, PA, USA.

SAATY, T.L., 1990, **Decision Making for Leaders: The Analytic Hierarchy Process for Decision in a Complex World**, 2 ed., Pittsburgh, PA, USA, RWS Publications.

STOPHER, P.R., MEYBURG, A.H., 1976, **Transportation Systems Evaluation**, Toronto, Canadá, Lexington Books.

TSAMBOULAS, D., YIOTIS, G.S. AND PANOU, K.D., 1999, Use of Multicriterial Methods for Assessment of Transports Projects, **Journal of Transportation Engineering**, september / october, 1999.

10 Bibliografia

ADLER, H.A., 1978, **Avaliação Econômica de Projetos de Transporte: Metodologia e Exemplos**. 1ª ed, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, Livros Técnicos e Científicos

BILAS, R.A. 1987, **Teoria Microeconômica**, 11ª ed., Rio de Janeiro, RJ, Brasil, Editora Forense Universitária

COELHO, A.C.D., 1989, **Análise Crítica da Avaliação de Projetos no Nordeste do Brasil**, Tese M.Sc. UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

DUARTE JUNIOR, A.M., 1989, **Análise Comparativa de Procedimentos Multicriteriais em Planejamento de Transporte**, Tese M.Sc., PUC/RJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

GARTNER, I.R., 1998, **Análise de Projeto em Banco de Desenvolvimento**, Florianópolis, SC, Brasil, Editora da UFSC.

GOMES, L.F.A.M, DUARTE JR, A.M., 1991, **A Avaliação de Projetos com Múltiplos Critérios**, Revista de Transporte e Tecnologia, Ano IV, n.7, julho, Campina Grande, PB, Brasil.

GOMES, L.F.A.M, 1991, **As Questões de Atribuição de Pesos e da Escolha dos Critérios nas Análises de Decisão com Múltiplos Critérios**, Revista de Transporte e Tecnologia, Ano III n.6, janeiro, Campina Grande, PB, Brasil.

TZENG, G.H., SHIAU, T.A., 1988, Multiple Objective Programming for Bus Operation: A

Case Study for Taipei City, **Transportation Research**, v. 22B, n. 3, june, pp. 195-206.

WEBER, M., 1985, A Method of Multiattribute Decision Making with Incomplete Information, **Management Science**, v. 31, n. 11, nov., pp. 1365-1371.

FERNANDES, J.F.R., 1989, **Método Multicritério Multiobjetivo: Sua Importância e Melhoramentos Conceituais**, Monografia, PET/COPPE/UFRJ, nov.

GIULIANO, G., 1985, A Multicriteria Method for Transportation Investment Planning, **Transportation Research**, v. 19 A, n. 1, pp. 29-41.

JANARTHANAN, N., SCHNEIDER, J., 1986, Multicriteria Evaluation of Alternatives Transit System Designs, **Transportation Research Record**, n. 1064, pp. 26-34.

PIERRO, L.F., DAL FABBRO, O., 1991, Método de Avaliação Multicritério Para Hierarquizar Implantação de Sistemas de Priorização Para Ônibus, **Revista de Transporte Público**, Associação Nacional de Transportes Públicos, n. 53, ano 14, set., pp. 95-106.

RABBANI, S.J.R., RABBANI, S.R., 1996, **Decision in Transportation with the Analitic Hierarch Process**, Federal University of Paraiba, Brazil.

ROY, B., HUGONNARD, J.C., 1982, Ranking of Suburban Line Extension Projects on the Paris Metro System by a Multicriteria Method, **Transportation Research**, v. 16A, n. 4, pp. 301-312.

SAATY, T.L., 1977, Scenarios and Priorities in Transport Planning: Application to the Sudan, **Transportation Research**, v. 11, pp. 343-350.

SANTOS, M.P.S., RODRIGUES, F.A.H., 1994, A Utilização do Método de Análise

Hierárquica no Processo de Escolha de Tema de Tese, In: **VII Congresso Nacional de Pesquisa e Ensino em Transporte**, Recife, PE, Brasil, nov., pp. 151-164.

SANTOS, M.P.S., RODRIGUES, F.A.H., 1994, Aplicação do Método de Análise Hierárquica na Priorização dos Critérios de Seleção de uma Rede de Transportes, In: **VII CLATPU: Congresso Latino Americano de Transporte Publico y Urbano**, Buenos Aires, Argentina, nov.

WINKLER, R.L., 1990, Decision Modelling and Rational Choice: AHP and Utility Theory, **Management Science**, v. 36, n. 3, march, pp. 247-248.

EVALUATION OF TRANSPORT PROJECTS UTILIZING COST BENEFIT ANALYSIS AND THE ANALYTIC HIERARCHY PROCESS

ABSTRACT

This work discusses assessment of transport projects utilizing two distinct methodologies: the traditional methodology benefit-cost analysis and the other, a multicriteria method, the analytic hierarchy process – AHP. The conventional benefit-cost analysis (CBA) require estimation of the benefits and costs associated with the alternatives under investigation. The Analytic Hierarchy Process (AHP) is a method that can be used to establish measures for both tangibles and intangibles from physical and social domains of a decision problem within hierarchic structures. The AHP use judgements of pairwise comparisons or numerical data.

Therefore, is suggested a procedure that makes use supplementary of both methodologies described above. The procedure consist, basically, in the application, in first time, of the benefit-cost analysis and then using the results of this analysis, is applied the analytic hierarchy process including others variables.

The proposed procedure was tested in the assessment of four alternatives to the public transport system of Porto Alegre city. The results showed that the procedure suggested in this work, had a good performance with the treatment of the decision problem analysed.

Keywords: evaluation, transportation, project.

anexo I**Descrição do software “Expert Choice”**

1 Introdução.

Para um melhor entendimento do funcionamento do software “Expert Choice” utilizado no estudo de caso, é apresentada uma breve descrição dos menus e do roteiro de utilização. A descrição foi feita tendo como base o “Help” do sistema e o anexo intitulado Bases Teóricas do “Expert Choice”. (Rodrigues, 1993).

2 Descrição do “Expert Choice”

O “Expert Choice” opera em ambiente “Windows”, sua utilização é simples e a interface com o usuário é semelhante a de qualquer programa que utiliza este sistema operacional.

O software é disponibilizado em duas versões: profissional e acadêmica, “ECPro 9.0 Network” e “ECPro Student 9.0”. As versões são diferenciadas principalmente nas limitações operacionais de cada uma.

O número máximo de níveis da estrutura hierárquica é fixado em seis na versão “ECPro 9.0 Network”, e quatro na versão “ECPro Student 9.0”;

O número máximo de elementos em cada nível da estrutura é igual a nove na versão “ECPro 9.0 Network”, e sete na versão “ECPro Student 9.0”;

Neste trabalho foi utilizado a versão acadêmica “ECPro Student 9.0”. As limitações impostas à esta versão em nenhum momento prejudicou a metodologia proposta e aplicada no estudo de caso.

As principais características do “ECPro” podem ser resumidamente descritas através da apresentação dos seguintes comandos:

MÓDULO DE AVALIAÇÃO E ESCOLHA

MENU EDITAR

Permite as diversas operações referentes a edição dos dados e montagem da estrutura.

Sub-Menu Inserir	Permite a introdução de um novo nó na estrutura hierárquica, imediatamente abaixo do nó ativo. Após a criação do novo nó, este comando possibilita a introdução do nome do nó e a descrição. Repetindo-se este procedimento é possível a montagem de toda a estrutura.
Sub-Menu Réplica	Possibilita a elaboração de cópia de parte da estrutura, facilitando a montagem da hierarquia quando esta possui trechos repetidos. Permite, ainda, criação de réplica de parte da estrutura ou da estrutura completa.
Sub-Menu Deletar	Permite a eliminação de partes da estrutura ou da estrutura hierárquica completa.

MENU AVALIAÇÃO:

Possibilita a introdução dos julgamentos dos especialistas e de dados numéricos, conforme o mecanismo escolhido para a obtenção das prioridades.

Sub-Menu Paritária	Esta opção permite a introdução dos julgamentos dos especialistas sobre a comparação entre pares dos elementos da estrutura hierárquica. É necessário especificar o tipo de avaliação: preferência, importância ou probabilidade, e a escala a ser utilizada: verbal, gráfica ou numérica.
Sub-Menu Dados:	Possibilita a introdução de dados numéricos para a efetivação do processo de comparação. A opção <i>Conversão para Paritária</i> transforma as relações entre os dados brutos em comparações paritárias.

Sub-Menu “Ratings” :	A opção “Ratings” é utilizada quando o número de alternativas excede a capacidade operacional do “software”. Esta opção utiliza planilhas para permitir a incorporação de um número grande de alternativas, e permite a criação de escalas de intensidade específicas.
MENU SÍNTESE	
Executa os cálculos necessários para a geração das prioridades para a hierarquia como um todo, ou para um determinado seguimento.	
Sub-Menu A Partir da Meta :	Calcula as prioridades e os índices de consistência, locais e globais, para todos os níveis da estrutura.
Sub-Menu A Partir do Nó Corrente :	Calcula as prioridades e os índices de consistência para todos os níveis da estrutura localizados abaixo do nó ativo.
MENU SENSIBILIDADE	
Dá acesso aos diversos estudos de sensibilidade disponíveis no “Expert Choice”.	
Sub-Menu Desempenho :	Mostra o desempenho de cada alternativa em relação a cada critério e global. Mostra também a priorização de cada critério. Permite a alteração das prioridades dos critérios e a observação do impacto das alterações no resultado final.
Sub-Menu Dinâmica	Mostra as prioridades dos critérios e a priorização final das alternativas. Permite alteração nas prioridades dos critérios e a observação do impacto nos resultados finais.
Sub-Menu Gradiente	Mostra um gráfico específico para cada critério considerado, o qual permite a visualização da prioridade de cada alternativa neste critério, assim como a prioridade do critério no sistema decisório.
Sub-Menu Bi-dimensional :	Exibe o desempenho de cada alternativa para cada par

	de critérios de decisão em função das posições relativas das alternativas no gráfico de sensibilidade.
ub-Menu Diferença	Mostra as diferenças entre as prioridades das alternativas tomadas duas a duas, para todos os critérios de decisão considerados na avaliação destas alternativas.

MÓDULO DE ESTRUTURAÇÃO

Além do Módulo de Avaliação e Escolha, o “Expert Choice ” possui o Módulo de Estruturação, que permite a estruturação da hierarquia representativa do problema decisório.

Este módulo permite a organização e a estruturação do problema, a partir da identificação dos diversos elementos relevantes ao processo de tomada de decisão

3 Roteiro para utilização do “Expert Choice Professional - ECPro”

A seguir é apresentado um roteiro para o desenvolvimento de um estudo de avaliação utilizando-se o software “Expert Choice Professional - ECPro”

Desenvolvimento das etapas o estudo de avaliação do projeto.	O “Expert Choice” permite o desenvolvimento de todas as etapas necessárias para a execução de um estudo de avaliação baseado no Método de Análise Hierárquica, desde a montagem da estrutura hierárquica até a priorização das alternativas consideradas.
	A montagem da hierarquia pode ser feita no módulo de “estruturação” ou diretamente no módulo de “avaliação”. O nível mais elevado da estrutura é representado pelo nó do objetivo global e o nível mais baixo é constituído pelos nós das alternativas consideradas. Os níveis intermediários são compostos pelos nós representativos dos fatores de diferenciação das alternativas, chamados de critérios e subcritérios.
Inserção dos julgamentos	Após a definição da hierárquica, próximo passo é a inserção dos julgamentos dos especialistas ou de dados numéricos, quando disponíveis, o que é feito através do módulo de “avaliação”.
	As comparações paritárias podem ser expressas em termos de importância, preferência ou probabilidade. Em geral, as comparações entre os critérios de decisão com respeito ao objetivo global do processo decisório são desenvolvidas em termos das relações de importância. No caso das comparações entre as alternativas com respeito aos critérios, as relações são de preferência. Pode-se, ainda, utilizar as relações de probabilidade.
	Os julgamentos, na forma de comparações paritárias,

	podem ser expressos segundo as escalas verbal, numérica ou gráfica, todas elas vinculadas a escala adotada pelo Método de Análise Hierárquica.
	As escalas verbal e gráfica são mais adequadas para a situação em que o grupo de especialistas não tem experiência com o Método de Análise Hierárquica. Nos casos em que existe familiaridade com o método, é conveniente a utilização da escala numérica que produz resultados mais precisos.
Inserção de dados numéricos	No caso da existência de dados numéricos, o “Expert Choice” permite a introdução destes valores brutos e efetua a conversão destes valores em comparações paritárias.
Cálculo das prioridades	Após a conclusão do processo de introdução dos julgamentos, ou dados numéricos para todas as matrizes da estrutura hierárquica, o “Expert Choice” permite, através do seu módulo de cálculo, a determinação de todas as prioridades locais, a prioridade global do sistema, a relação de consistência para as matrizes individualmente e para a hierarquia inteira.
	Na fase de cálculo dos resultados finais do modelo de decisão, o “Expert Choice” permite a escolha de dois modos para a composição das prioridades finais para as alternativas: Modo Ideal e Modo Distributivo. Cada um destes modos é recomendável para situações específicas em função de suas características.
Modo distributivo	O Modo Distributivo é o procedimento original do Método de Análise Hierárquica que normaliza os pesos das alternativas durante o processo de cálculo dos resultados finais do modelo. Neste método pode ocorrer o fenómeno da “inversão de ordem” e é mais indicado para situações

	onde o objetivo é obter um ordenamento das alternativas.
Modo ideal	O Modo Ideal associa o peso máximo do critério à alternativa que apresenta o melhor desempenho neste critério. Este modo impede a ocorrência do fenômeno da “inversão de ordem” e é mais indicado para situações onde busca-se uma melhor alternativa dentro do conjunto.
	É importante ressaltar que os resultados obtidos por ambos os modos de composição das prioridades finais e, portanto, dos resultados do modelo de decisão são bastante similares.
	A escolha do modo mais apropriado para a determinação dos resultados finais do processo de tomada de decisão dependerá do tipo de problema analisado. Se o objetivo é a escolha da melhor alternativa dentro de um conjunto de possibilidades, o Modo Ideal será o mais adequado. Se a finalidade do processo decisório é a priorização do conjunto de alternativas, o Modo Distributivo será o mais indicado.
Cálculo da razão de consistência	O “Ecpro” fornece a Razão de Consistência para cada matriz de comparação e para a total da hierarquia. Nos casos onde o índice de consistência exceder 0.1, em uma determinada matriz ou na hierarquia, os julgamentos dos especialistas deverão ser revistos.
Análise de sensibilidade	A última etapa é a análise de sensibilidade que é realizada através dos diversos recursos disponíveis no módulo de “sensibilidade” apresentados anteriormente.
Impressão de relatórios	O “Ecpro” permite, ainda, a impressão de relatórios com todos os passos da avaliação: Hierarquia, prioridades parciais e globais e gráficos da análise de sensibilidade. Um recurso adicional, através do botão “clipboard”,

	disponível em alguns gráficos, pode-se guardar a impressão na área de transferência e cola-la em um editor de texto qualquer.
--	---

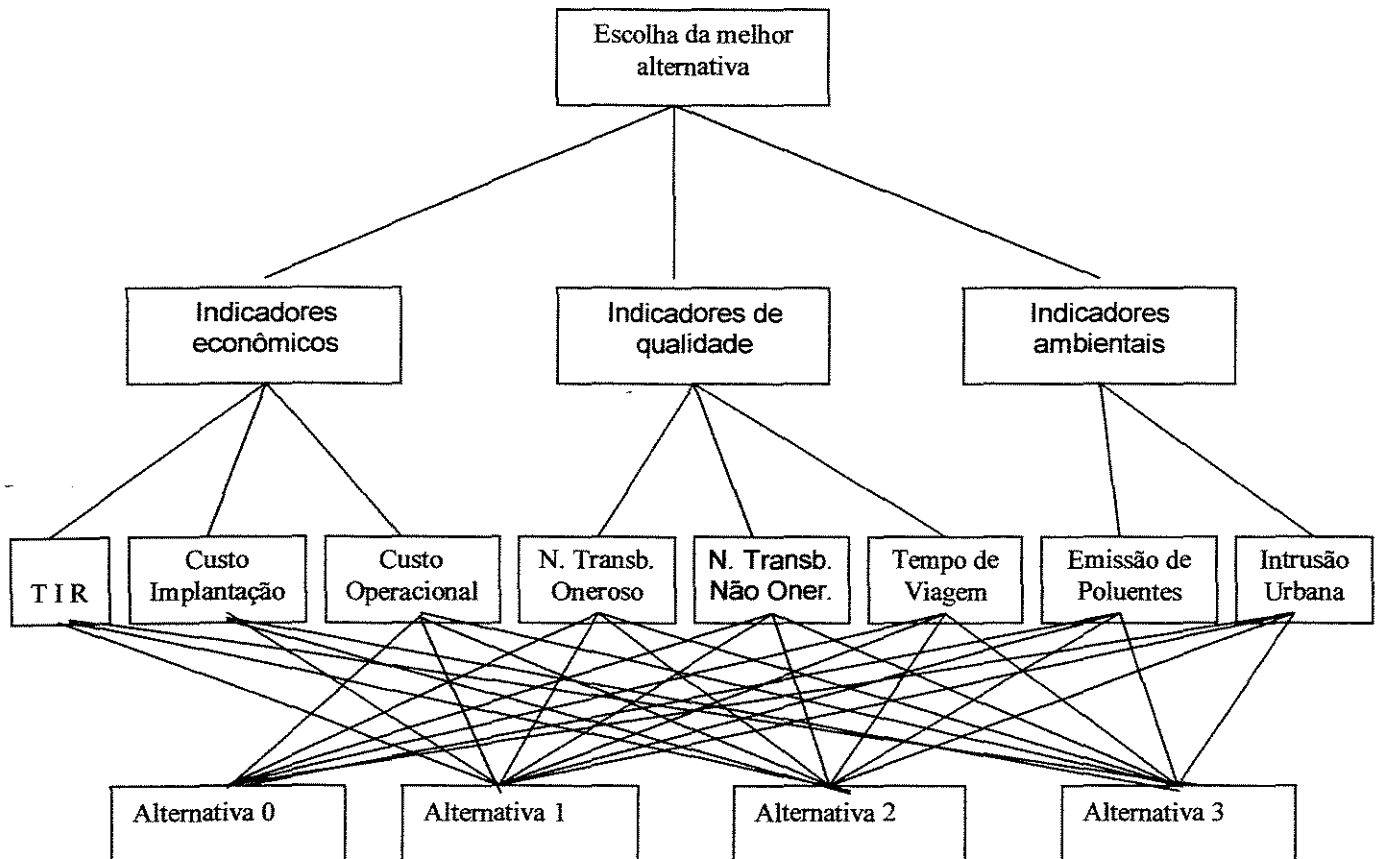
Anexo II

Questionários utilizados para a obtenção dos julgamentos do grupo de especialistas.

Método de Análise Hierárquica

Processo de Julgamento

Hierarquia representativa do Problema de Decisão



Nota: TIR taxa interna de retorno

Observações:

- 1 Considerando a hierarquia apresentada acima o analista deverá indicar seus julgamentos nos espaços indicados.
- 2 Em cada julgamento o analista deverá escolher entre a opção x ou x.a, e só depois preencher com o julgamento
- 3 Para a julgamento deverá ser considerada a escala apresentada no final de cada página.

Método de Análise Hierárquica

Processo de julgamento

Analista: _____

Comparação entre os critérios de avaliação:

Indicadores econômicos
Indicadores de qualidade
Indicadores ambientais

Em relação à escolha da **melhor alternativa**:

1	Indicadores econômicos são _____ mais importantes que Indicadores de qualidade
1.a	Indicadores de qualidade são _____ mais importantes que Indicadores de econômicos
2	Indicadores econômicos são _____ mais importantes que Indicadores ambientais
2.a	Indicadores ambientais são _____ mais importantes que Indicadores econômicos
3	Indicadores de qualidade são _____ mais importantes que Indicadores ambientais
3.a	Indicadores ambientais são _____ mais importantes que Indicadores de qualidade

Definição da Relação entre os Elementos A e B	Valores da Escala
A e B são iguais em importância, preferência ou probabilidade	1
A é pouco mais importante, preferível ou provável que B	3
A é mais importante, preferível ou provável que B	5
A é muito mais importante, preferível ou provável que B	7
A é absolutamente mais importante, preferível ou provável que B	9
Determinação de situações intermediárias entre A e B	2, 4, 6, 8

Método de Análise Hierárquica

Processo de julgamento

Analista: _____

Comparação entre os critérios de avaliação:

TIR - taxa interna de retorno
Custo de implantação
Custo operacional

Em relação aos indicadores econômicos:

4	TIR - taxa interna de retorno é _____ mais importante que Custo de implantação
4.a	Custo de implantação é _____ mais importante que TIR - taxa interna de retorno
5	TIR - taxa interna de retorno é _____ mais importante que Custo operacional
5.a	Custo operacional é _____ mais importante que TIR - taxa interna de retorno
6	Custo de Implantação é _____ mais importante que Custo Operacional
6.a	Custo de Operacional é _____ mais importante que Custo de Implantação

Definição da Relação entre os Elementos A e B	Valores da Escala
A e B são iguais em importância, preferência ou probabilidade	1
A é pouco mais importante, preferível ou provável que B	3
A é mais importante, preferível ou provável que B	5
A é muito mais importante, preferível ou provável que B	7
A é absolutamente mais importante, preferível ou provável que B	9
Determinação de situações intermediárias entre A e B	2, 4, 6, 8

Método de Análise Hierárquica

Processo de julgamento

Analista: _____

Comparação entre os critérios de avaliação:

Número de transbordo oneroso
Número de transbordo não oneroso
Tempo de viagem

Em relação a indicadores de qualidade:

7	Número de transbordo oneroso é _____ mais importante que Número de transbordo não oneroso
7.a	Número de transbordo não oneroso é _____ mais importante que Número de transbordo oneroso
8	Número de transbordo oneroso é _____ mais importante que Tempo de viagem
8.a	Tempo de viagem é _____ mais importante que Número de transbordo oneroso
9	Número de transbordo não oneroso é _____ mais importante que Tempo de viagem
9.a	Tempo de viagem é _____ mais importante que Número de transbordo não oneroso

Definição da Relação entre os Elementos A e B	Valores da Escala
A e B são iguais em importância, preferência ou probabilidade	1
A é pouco mais importante, preferível ou provável que B	3
A é mais importante, preferível ou provável que B	5
A é muito mais importante, preferível ou provável que B	7
A é absolutamente mais importante, preferível ou provável que B	9
Determinação de situações intermediárias entre A e B	2, 4, 6, 8

Método de Análise Hierárquica

Processo de julgamento

Analista: _____

Comparação entre os critérios de avaliação:

Poluição ambiental
Intrusão urbana

Em relação a indicadores ambientais:

10	Poluição ambiental é _____ mais importante que Intrusão urbana
10.a	Poluição intrusão urbana é _____ mais importante que ambiental

Definição da Relação entre os Elementos A e B	Valores da Escala
A e B são iguais em importância, preferência ou probabilidade	1
A é pouco mais importante, preferível ou provável que B	3
A é mais importante, preferível ou provável que B	5
A é muito mais importante, preferível ou provável que B	7
A é absolutamente mais importante, preferível ou provável que B	9
Determinação de situações intermediárias entre A e B	2, 4, 6, 8

Método de Análise Hierárquica

Processo de julgamento

Analista: _____

Comparação entre as alternativas: Alternativa 0
 Alternativa 1
 Alternativa 2
 Alternativa 3

Em relação à intrusão urbana:

11	Alternativa 0 é _____ mais preferível que Alternativa 1
11.a	Alternativa 1 é _____ mais preferível que Alternativa 0
12	Alternativa 0 é _____ mais preferível que Alternativa 2
12.a	Alternativa 2 é _____ mais preferível que Alternativa 0
13	Alternativa 0 é _____ mais preferível que Alternativa 3
13.a	Alternativa 3 é _____ mais preferível que Alternativa 0
14	Alternativa 1 é _____ mais preferível que Alternativa 2
14.a	Alternativa 2 é _____ mais preferível que Alternativa 1
15	Alternativa 1 é _____ mais preferível que Alternativa 3
15.a	Alternativa 3 é _____ mais preferível que Alternativa 1
16	Alternativa 2 é _____ mais preferível que Alternativa 3
16.a	Alternativa 3 é _____ mais preferível que Alternativa 2

Definição da Relação entre os Elementos A e B	Valores da Escala
A e B são iguais em importância, preferência ou probabilidade	1
A é pouco mais importante, preferível ou provável que B	3
A é mais importante, preferível ou provável que B	5
A é muito mais importante, preferível ou provável que B	7
A é absolutamente mais importante, preferível ou provável que B	9
Determinação de situações intermediárias entre A e B	2, 4, 6, 8