

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA

Dept. de ENGENHARIA DE SISTEMAS

Este exemplar corresponde à redação final da tese
defendida por Dominique Mouette
e aprovada pela Comissão
Julgadora em 06 / 08 / 1993.

Orientador

**UTILIZAÇÃO DO MÉTODO DE ANÁLISE HIERÁRQUICA NO PROCESSO
DE TOMADA DE DECISÃO NO PLANEJAMENTO DE TRANSPORTE
URBANO: UMA ANÁLISE VOLTADA AOS IMPACTOS AMBIENTAIS**

Orientador: Jurandir Fernando Ribeiro Fernandes

Tese apresentada à Faculdade de Engenharia Elétrica
da Universidade Estadual de Campinas como parte
dos requisitos para a obtenção do título de "MESTRE"

DOMINIQUE MOUETTE 86
AGOSTO DE 1993

AGRADECIMENTOS

Ao professor Jurandir pelo apoio e orientação recebida.

Ao professor Márcio por sua participação na Banca, sugestões e auxílio bibliográfico.

Ao professor Raul pela participação na Banca.

Ao professor João Frederico cujo auxílio contribuiu de forma significativa à realização deste trabalho.

À professora Milena e ao professor Romulo pela participação em suas disciplinas e pelo grande incentivo à elaboração deste trabalho.

Ao Eng. Luiz Celso Biahenback (CETESB- Campinas), Arq. Guilherme (Sec. do Meio Ambiente, SP), Eng. Sidney Henrique Pinto (CMTC), Aurea e Mara Luiza (Metrô, SP) e à Tércia pelas entrevistas e fornecimento de informações e material.

À Vânia e a bibliotecária do Metrô pelo auxílio no levantamento bibliográfico.

Ao CNPq pelo apoio financeiro.

Ao meu irmão Alain e aos amigos Beth, Rogério, Nishi pelo auxílio computacional ou pela colaboração na revisão.

Aos amigos Malú, Tirza, Cláudia, Mauro, Marlene, Quincas, Natália, Túlio, Rogério, Gilli, Sérgio, Ângela pela paciência e incentivo.

UTILIZAÇÃO DO MÉTODO DE ANÁLISE HIERÁRQUICA NO PROCESSO
DE TOMADA DE DECISÃO NO PLANEJAMENTO DE TRANSPORTE
URBANO: UMA ANÁLISE VOLTADA AOS IMPACTOS AMBIENTAIS

Dominique Mouette¹

Agosto de 1993

RESUMO

Este trabalho analisa os impactos das alternativas de implantação ou alteração de um sistema de transporte visando fornecer informações ao processo de tomada de decisão.

Apresenta uma abordagem multidimensional do processo através do estudo das relações urbanas, econômicas, ambientais, sociais e técnico-operacionais que decorrem de um sistema de transporte e o influenciam.

Utiliza o Método de Análise Hierárquica como uma ferramenta de auxílio na avaliação de diferentes alternativas. Enfatiza os impactos ambientais; entretanto, elabora as hierarquias dos impactos positivos e negativos: sócio-espaciais, decorrentes de um desencadeamento de ações e reações; operacionais que interferem, também, na eficiência e eficácia do sistema.

Considera, além disto, outros parâmetros importantes no processo de tomada de decisão, como custo de implantação e número de passageiros transportados, e efetua uma análise mais ampla ponderando vários objetivos dos diferentes agentes envolvidos no processo. Estas análises não visam apontar a "melhor" solução, mas fornecer informações comparativas de cada alternativa em questão.

¹Orientador: Jurandir Fernando Ribeiro Fernandes
FEE/UNICAMP

ÍNDICE

i. APRESENTAÇÃO	1
I. INTRODUÇÃO	4
II. O PROCESSO DE TOMADA DE DECISÃO	9
1. Agentes Envolvidos no Processo	11
2. O Planejamento e o Processo Decisório	12
3. Tipos de Ações Possíveis no Planejamento	15
4. Perspectivas da Sociedade	16
5. Abordagens do Planejamento	18
6. Modelos Conceituais de Tomada de Decisão	19
III. ASPECTOS TÉCNICOS-OPERACIONAIS	21
1. Classificação por Modo de Transporte	21
2. Classificação por Modo de Operação	22
3. Classificação pelo Nível de Serviço	24
4. Outras Características	24
5. Alternativas Tecnológicas	25
6. Impactos Operacionais	31
IV. USO DO SOLO E CONFIGURAÇÃO URBANA	34
1. Estrutura Urbana	34
2. Relação entre Uso do Solo e Transporte	38
3. Impactos na Configuração Urbana	42

V. MEIO AMBIENTE	46
1. Poluição Atmosférica	46
2. Poluição Sonora	60
3. Vibração	75
4. Intrusão Visual	80
5. Segregação Urbana	83
6. Medidas Mitigadoras	86
VI. IMPACTOS SÓCIO-ECONÔMICOS	88
VII. O MÉTODO DE ANÁLISE HIERÁRQUICA	90
1. Definição de Hierarquia	91
2. Avaliação dos Elementos	93
3. Cálculo das Prioridades	97
4. Hierarquias e Prioridades	100
5. Inconsistência de Julgamento	102
6. Erro	110
7. <i>Software</i>	111
8. Exemplo	116
VIII. APLICAÇÃO DA METODOLOGIA PROPOSTA	122
1. Objetivos do Planejamento	122
2. Alternativas Avaliadas	123
3. Processo de Avaliação dos Impactos	123
4. Modelagem do Problema	126
5. Elaboração e Avaliação das Hierarquias	127
6. Resultados dos Estudos Efetuados	155
IX. CONCLUSÕES	167
X. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	171
XI. BIBLIOGRAFIA	177

ANEXO 1: PROPRIEDADES E CARACTERÍSTICAS DO SOM	180
1. A Escala Em <i>Decibéis</i>	180
2. Intensidade do Som Resultante de Várias Fontes	181
3. Distúrbio Provocado Devido ao Aumento da Intensidade de Som	183
4. Atenuação do Nível de Ruído Devido à Duplicação da Distância	184

ANEXO 2: ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICO-ECONÔMICO- FINANCEIRA DA TERCEIRA LINHA DO METRO	186
1. Metodologia	186
2. Objetivos do Planejamento	187
3. Critérios de Seleção	189
4. Processo de Avaliação	189
5. Seleção da Alternativa	191

i. APRESENTAÇÃO

1. OBJETIVOS

Este trabalho tem por objetivo a elaboração de uma metodologia de abordagem de impactos sócio-espaciais e operacionais decorrentes da implantação ou alteração de um sistema de transporte, baseada na análise hierárquica, com a finalidade de auxiliar no processo de tomada de decisão no planejamento de transportes urbanos.

Para agilizar e permitir a análise de diferentes cenários desenvolveu-se um *software* que instrumentaliza a metodologia proposta.

2. RELEVÂNCIA DO TRABALHO

Este trabalho justifica-se devido principalmente a dois fatores:

- As cidades brasileiras de médio e grande porte estão sofrendo uma rápida e violenta degradação ambiental, tendo os sistemas de transportes forte parcela de responsabilidade devido aos impactos ambientais, e conseqüentemente sociais, causados.
- A implantação de um sistema de transporte apresenta altos custos de investimento além de ser um processo demorado e de longa durabilidade.

Face a estes fatores, o planejamento e a implantação de transportes urbanos necessitam de um procedimento que avalie, além dos aspectos técnicos e econômicos, os impactos causados no espaço urbano. Desta forma poderiam ser diminuídas as implantações de obras que sobrecarreguem a sociedade com impactos indesejáveis.

3. ESTRUTURA DO TRABALHO

Visando facilitar a compreensão de todos os aspectos abordados neste trabalho, o mesmo foi desenvolvido em nove capítulos.

No capítulo I definem-se os objetivos básicos que nortearam este estudo, bem como a importância do tema no contexto do planejamento de transporte e a tomada de decisão.

No capítulo II efetuam-se uma conceituação do processo de planejamento de transporte e a tomada de decisão. Para uma maior compreensão do processo abordaram-se: os agentes envolvidos, os vários enfoques que assume perante a comunidade, os tipos de ações possíveis e os modelos conceituais de tomada de decisão.

No capítulo III classificam-se os sistemas de transportes sob várias aspectos, efetua-se um estudo sobre diferentes alternativas tecnológicas e abordam-se impactos operacionais.

No capítulo IV abordam-se a questão do uso do solo e da configuração urbana. Caracterizaram-se a estrutura urbana de acordo com os aspectos funcionais e físicos, estudaram-se as relações entre uso do solo e transporte e impactos do sistema de transportes na configuração urbana.

No capítulo V apresentam-se os aspectos ambientais: poluição atmosférica, poluição sonora, vibração, intrusão visual, segregação urbana e algumas medidas amenizadoras. Para todos eles abordaram-se os elementos dos sistemas de transportes causadores de impactos e suas consequências sobre o meio ambiente e a população.

No capítulo VI efetua-se uma breve definição dos impactos sócio-econômicos e cita-se impactos pertencentes a esta categoria.

No capítulo VII apresenta-se o Método de Análise Hierárquica, primeiramente de uma forma simples, depois matematicamente onde foi demonstrado sua validade, convergência e as estimativas do erro na avaliação final. Também apresenta-se o *software* desenvolvido e um exemplo para melhor compreensão do método.

No capítulo VIII aplica-se a metodologia proposta através do estudo de implantação de duas alternativas de metrô. Definem-se os objetivos do planejamento, as alternativas em questão, efetua-se uma seleção dos impactos considerados e elaboram-se três hierarquias de avaliação: hierarquias de impactos positivos e negativos, hierarquia de

impactos negativos referente a uma das alternativas e hierarquia de ponderações que considera outros fatores importantes no processo de tomada de decisão e seus pesos relativos .

No capítulo IX relatam-se as conclusões e observações decorrentes da elaboração do presente trabalho, a validade da metodologia utilizada e suas restrições.

I. INTRODUÇÃO

Desde o final da década de sessenta nota-se um constante crescimento da degradação ambiental em nosso país. E o que é pior, esta degradação e os problemas sociais decorrentes têm evoluído a taxas crescentes em intensidade e extensão.

O intenso processo de urbanização ocorrido nas últimas décadas gerou vários problemas à cidade e sua população, muitos deles relacionados diretamente à questão do transporte de passageiros, gerando elementos destrutivos como congestionamentos, insegurança, causando danos tanto físicos quanto mentais aos seus habitantes (Merlin, 1984).

O estudo das relações entre a cidade, o transporte e a degradação ambiental envolve a compreensão de cada um deste elementos e de que modo ocorrem as interferências.

A cidade pode ser interpretada e definida por várias perspectivas distintas. Nosso trabalho se basear-se-á nas duas definições seguintes: a primeira considera a cidade um sistema semi-decomposto, aberto ou semi-aberto, organizado e ao menos parcialmente finalizado e regulamentado. A outra, citada por Merlin (1984), a define como um agrupamento, sobre um território, de um grande número de pessoas que necessitam dessa proximidade para exercer atividades coletivas como o trabalho, as compras e o lazer, visando melhores condições de vida.

Destas duas definições vemos que a cidade não é somente uma forma física, mas um produto de uma sociedade que ocupa e usa um meio natural determinado. Deste modo devemos entender o espaço urbano como parte integrante de um conjunto maior.

Pertencente ao sistema urbano, temos o transporte que pode ser definido como um sub-sistema do primeiro cuja função é de transportar pessoas e/ou mercadorias a locais desejáveis.

O transporte exerce um papel importante no desenvolvimento das cidades. Uma mudança no sistema refletirá em mudanças significativas nas atividades sócio-

econômicas e nas condições ambientais de uma região. No processo de urbanização devemos considerar a estreita relação entre uso do solo e transporte, relação cíclica e recíproca. Acções sobre um sistema de transporte refletirão em mudanças no uso e ocupação do solo que afetarão a relação entre a oferta e a demanda por transporte fechando-se o ciclo (Mello e Clichevsky, 1980). Portanto um bom sistema de transporte deve, além de minimizar os deslocamentos, ser capaz de prever e antecipar as consequências no espaço urbano.

O desenvolvimento de uma metodologia de planejamento de transporte iniciou-se com o estudo da região metropolitana de Detroit, EUA, em 1953-1955, sendo expandida à cidade de Chicago no final da década de cinquenta. Os modelos desenvolvidos na década de sessenta eram baseados em uma metodologia matemática voltados a uma política rodoviária, ao desenvolvimento da rede viária e à capacidade de expansão da cidade. Nos anos setenta houve uma maior preocupação com o aproveitamento da malha urbana existente e com o limite de crescimento da cidade. Prioriza-se a acessibilidade no meio urbano e surgem as primeiras inquietações com a qualidade de vida. Já nos anos oitenta inicia-se a preocupação com o meio ambiente, levando ao estudo dos impactos negativos produzidos pelo tráfego. Concomitantemente temos o interesse por mudanças e inovações tecnológicas e o aprimoramento da malha urbana. Torna-se forte o caráter multidimensional do planejamento de transporte urbano (Gent e Nijkamp, 1988).

Esta maior abrangência do planejamento de transporte é um reflexo do crescimento da conscientização da população, ao final da década de sessenta, em relação à degradação ambiental e aos problemas sociais decorrentes. As comunidades começaram, então, a exigir uma melhor qualidade ambiental e que os fatores geradores de impactos ambientais fossem considerados pelos governos.

O primeiro grande passo dado em direção à proteção ambiental foi nos EUA em 1969. O Congresso decreta leis através da "National Environmental Policy Act of 1969" que determina os objetivos e princípios da política ambiental americana. Para o cumprimento das leis desenvolveram-se procedimentos administrativos que viabilizassem a elaboração dos estudos e a apresentação dos resultados. Criou-se o "Environmental Impact Statement (EIS)" que contém o resumo dos estudos de previsão e avaliação dos impactos. Na década de setenta surge, na Europa, o conceito Avaliação dos Impactos Ambientais (AIA), similar ao EIS e que é adotado no mundo todo.

A partir de 1975 alguns organismos internacionais como a Organização para a Cooperação Econômica e Européia (OECD), a Comissão da Comunidade Européia (ECC) e alguns órgãos da Organização da Nações Unidas (ONU) introduzem o AIA em

seus programas com a finalidade de avaliar os impactos ambientais que afetariam outros países além do executor do projeto.

As pressões da comunidade científica e da população de países desenvolvidos sobre os grandes agentes financeiros resultam em financiamentos de projetos ambientais de caráter local ou internacional.

No Brasil, a Avaliação dos Impactos Ambientais (AIA) foi instituída pela lei de Política Nacional do Meio Ambiente, em 1981, e regulamentada em 1983 através de um decreto que vinculou sua utilização aos sistemas de licenciamento de atividades poluidoras ou modificadoras do meio ambiente. Em 1986, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) aprovou as diretrizes básicas dos estudos de impactos ambientais e da apresentação do Relatório de Impactos Ambientais (RIMA), cabendo às entidades do meio ambiente estabelecer as normas e diretrizes complementares à resolução (CETESB, 1990).

Em nosso país o estudo de avaliação de impactos ambientais iniciou-se devido às exigências de órgãos financeiros internacionais ao sujeitarem empréstimos à análise dos impactos, requisito obrigatório à concessão de empréstimos para projetos. Estes estudos também são efetuados devido a obrigatoriedade da apresentação de informações das atividades poluidoras aos órgãos de licenciamento como um procedimento necessário à aprovação de um projeto.

Os estudos de impactos de sistemas de transporte apresentam abordagens setoriais, privilegiando uma classe de impactos (Lindau et alli, 1991), normalmente aspectos técnicos e financeiros. Análises que englobam os impactos ambientais são raras e recentes; entre elas podemos citar: Estudo dos Impactos Ambientais da Rodovia do Sol (Dersa e Themag Engenharia, 1989); "Evaluating the Environmental Impacts of Roads by a Multicriterial Method" (Gomes e Lima, 1991), analisa uma estrada que ligará o Vale do Paraíba a Parati, no estado de São Paulo; Estudos de Impactos Ambientais do Trêm Metropolitano Campo Limpo - Santo Amaro, S.P. (FEPASA e UMA-H, 1992).

Este estudo aborda a questão do impacto dos sistemas de transportes como toda e qualquer alteração na estrutura urbana, podendo ser benéfica ou maléfica.

As alterações podem ser uma consequência direta do sistema de transporte, como a poluição e o aumento da acessibilidade, neste caso dita primária, ou secundárias, causadas indiretamente através do desencadeamento de uma série de efeitos, por exemplo, o deslocamento de uma parcela da população.

Os impactos sobre a estrutura urbana podem ser classificados em várias categorias. Neste trabalho classificaremos os impactos em sócio-espaciais e operacionais. Os impactos sócio-espaciais englobam a configuração urbana, o meio ambiente e as relações sociais e econômicas. Os operacionais referem-se às alterações na eficiência, desempenho, tecnologias e às condições sob as quais opera o sistema.

O estudo dos impactos constitui-se da previsão e identificação das possíveis alterações, primárias ou secundárias, decorrentes de um sistema de transporte. Uma das grandes dificuldades deste estudo deve-se à amplitude de interações deste sistema com a comunidade e o meio urbano.

Os impactos iniciam-se na fase anterior à construção refletindo em especulação imobiliária e em desapropriações. Durante o tempo de execução da obra, as mudanças no tráfego, o aumento do barulho e da poeira interferem na vida da população local. Quando o sistema entra em operação há impactos imediatos sentidos, principalmente, na alteração da acessibilidade e no valor e uso do solo. Com o tempo ocorre uma adequação até que uma nova situação de equilíbrio dinâmico seja atingida.

As alterações causadas nos espaços urbanos não ocorrem de maneira uniforme. As áreas mais próximas ao sistema de transporte sofrem efeitos mais intensos e nítidos; entretanto os impactos possuem um abrangência muito grande, alguns atingem toda a região e em certos casos o planeta.

Os impactos de um sistema de transporte são diversos e atingem várias áreas. Iniciam-se com alterações operacionais e tecnológicas, interferem nas atividades sócio-econômicas, refletem no meio ambiente causando danos à população e tornam a vida ainda mais estressante através de impactos como ruído ou insegurança. Frente a todos estes fatos a implantação de um sistema de transporte deve ser estudada não somente sob a ótica técnica, como custo, viabilidade, passageiros transportados etc... mas deve integrar-se no contexto urbano, social e ambiental refletindo numa melhora da qualidade de vida.

Dentre os impactos nosso enfoque será sobre a questão ambiental e suas consequências, entretanto devido a estreita relação entre os impactos, dissociar completamente os diferentes tipos não é uma questão simples, podendo, inclusive, levar a uma generalidade muito grande do problema. Deste modo detalharemos os impactos ambientais (vibração, segregação urbana, intrusão visual, poluição sonora e atmosférica), mas citaremos brevemente os outros tipos, sobretudo, aqueles que interferem ou são derivados do meio ambiente.

Face a todos estes fatores o planejamento de transporte necessita avaliar a evolução da sociedade, do meio urbano e os impactos decorrentes. Esta maior abrangência do planejamento leva os operadores e as autoridades competentes a uma gama de objetivos, fatores e critérios, muitas vezes conflitantes e não mensuráveis, no processo de tomada de decisão, onde não há uma solução ótima. A análise dos aspectos quantitativos e baseada na relação custo/benefício mostra-se muitas vezes ineficiente.

A análise multicritério permite a abordagem de valores não comensuráveis através da ponderação e distribuição de pesos efetuando julgamentos sobre a importância relativa dos objetivos e tornando explícitos valores que no caso mono-objetivo permaneceriam implícitos. Desta forma podemos efetuar uma investigação sistemática de projetos alternativos onde a extensão da escolha e a relação entre as alternativas e os valores dos objetivos são identificados possibilitando a avaliação de diversas alternativas (Cohon, 1978).

Vários autores citam a viabilidade e a importância da utilização deste métodos no processo de planejamento de transportes, (Merlin, 1984; Novaes, 1990) e outros os utilizam ou utilizaram (Gomes, 1989; Hill, 1973; Godard, 1973), havendo mesmo métodos específicos como o ELECTRE (Eliminação e Escolha Traduzindo a Realidade), e o S.R.E.R.P. (Método de Serviço Regional de Equipamentos da Região Parisiense), (Godard, 1973).

Dentre os métodos de análise multicriterial optamos pelo Método de Análise Hierárquica (MAH), o qual permite o estudo de sistemas decompondo-os em vários níveis, de modo que seja possível estudar as interações funcionais de seus componentes. Ele permite, também, avaliar equivalência entre entidades não comensuráveis como saúde e qualidade ambiental (Saaty, 1990).

II. PROCESSO DE TOMADA DE DECISÃO

O desenvolvimento deste trabalho baseia-se nas seguintes proposições (Boulding, 1974):

- o mundo se move para o futuro como resultado de decisões e não de planos;
- toda decisão envolve a avaliação de alternativas, suas consequências futuras e a seleção da alternativa mais viável;
- a avaliação, a decisão da estratégia e a qualidade da decisão dependem da incerteza associada às previsões;
- o planejamento deve aumentar a chance de se tomar uma melhor decisão;
- o resultado do planejamento é uma forma de comunicação com os decisores.

De acordo com Boulding, o processo de planejamento é baseado nas necessidades de informação ao decisor. Meyer e Miller (1984) ressaltam que o planejamento de transportes deve fornecer, além das informações necessárias e desejadas, todas aquelas que levam a um maior entendimento do problema e das implicações das diferentes alternativas. Baseado nestas considerações, definiu-se o processo de tomada de decisão, no contexto do planejamento de transportes, como:

- entender os tipos de decisões que necessitam ser tomadas;
- avaliar as oportunidades e limitações futuras;
- identificar as consequências, a curto, médio e longo prazo, das alternativas de modo que seja possível aproveitar oportunidades e agir contra limitações;
- relacionar as metas e objetivos às alternativas estabelecidas.

A identificação das consequências de cada alternativa requer uma análise de vários problemas relacionados ao transporte e que são originários da estrutura urbana e das relações sócio-econômicas. A figura II.1 sintetiza algumas causas e consequências, que serão desenvolvidas no decorrer do trabalho.

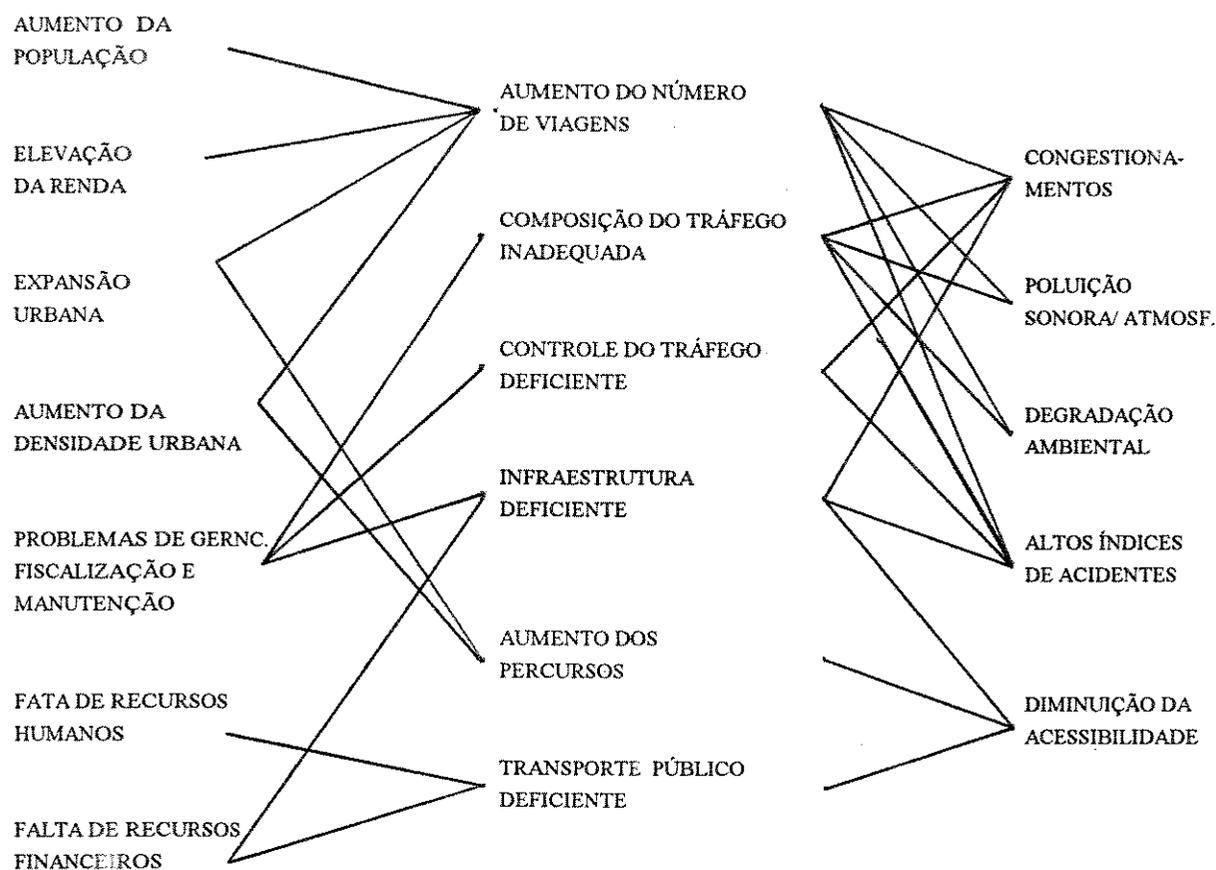


FIGURA II.1: RELACÃO DOS PROBLEMAS DE TRANSPORTE COM DA ESTRUTURA URBANA E AS RELAÇÕES SÓCIO-ECONÔMICAS
 FONTE: NOTAS DE AULA PROF. MILENA BODMER, (PET/COPPE/UFRJ)

Face a estes problemas o processo de planejamento vem sofrendo mudanças tanto metodológicas quanto em relação aos objetivos e necessidades. Entretanto ainda falha muito em relação aos impactos decorrentes principalmente nos seguintes aspectos (Hutchinson, 1979):

- os impactos ocasionados por diferentes tecnologias sobre a qualidade do meio ambiente;
- os impactos dos investimentos sobre diferentes grupos sócio-econômicos levando a uma acessibilidade diferenciada;
- o impacto que a alteração da acessibilidade pode gerar na distribuição espacial das atividades urbanas;
- a incerteza sob a qual os investimentos de transporte são realizados e o fato de que são feitos sequencialmente ao longo dos anos;

- o relacionamento entre recursos financeiros exigidos por este setor e os outros, como saúde e educação.

Sendo o transporte um dos fatores determinantes no desenvolvimento urbano e sócio-econômico, seu planejamento não pode ser visto como algo em si, mas como parte de um processo de tomada de decisão. Por seu caráter multidimensional, necessita de uma análise abrangente, considerando os agentes envolvidos, os tipos de ações, os diferentes enfoques, o tipo de abordagem adotado, e em que modelo conceitual se situa a tomada de decisão. É o que será apresentado a seguir.

1. AGENTES ENVOLVIDOS NO PROCESSO

Situando o planejamento no contexto real, temos as forças políticas, econômicas e sociais envolvidas não sendo possível a total desvinculação. Estas agregam-se nos três principais agentes envolvidos no processo: a comunidade, o planejador e o decisor.

1.1 Comunidade

Formada pelos usuários, ou não, do sistema de transporte. Apresenta características heterogêneas com necessidades e interesses muitas vezes divergentes.

O transporte é, para a comunidade, um meio de realizar atividades. Portanto, apesar das diferenças sócio-econômicas, visa basicamente uma minimização dos custos e do tempo de deslocamento e uma maximização do conforto e da segurança, independentemente da escolha modal.

1.2 Planejador

O planejador assume mais de um papel, sendo, na verdade, uma equipe multidisciplinar.

Ele é um técnico que utiliza ferramentas e técnicas para colher e analisar dados e objetivos, elaborar alternativas, compreender as necessidades da sociedade e finalmente propor soluções acompanhadas de uma avaliação crítica.

Muitas vezes, ele atua como um mediador, buscando o equilíbrio entre a comunidade e as diversas visões do processo.

1.3 Decisor

Sua função principal é decidir qual, quando e como será implantado o projeto estudado. Normalmente representa um órgão governamental e sua decisão está vinculada às diretrizes políticas, à disponibilidade de recursos e à repercussão social.

Para uma melhor compreensão, antes de discorrermos sobre os outros aspectos, abordaremos a definição e as etapas necessárias ao processo de planejamento e tomada de decisão.

2. O PLANEJAMENTO E O PROCESSO DECISÓRIO

A estrutura básica do planejamento de transportes foi definida em 1963 pelo "Bureau of Public Roads", EUA, como:

"O processo de planejamento de transporte diz respeito a todas as facilidades utilizadas para a movimentação de bens e pessoas, incluindo terminais e sistemas de controle de tráfego. O processo é baseado na coleta, análise e interpretação de dados relativos às condições existentes e ao seu desenvolvimento histórico, nas metas e objetivos da comunidade, na previsão do planejamento, mas também nas revisões periódicas e nas modificações provenientes das alterações que ocorrerem."

Baseada nesta estrutura encontramos várias metodologias que diferem ligeiramente em relação às fases do planejamento. De acordo com as definições e o contexto citado, podemos enumerar as seguintes etapas:

i. Definição de Metas

A meta está associada ao sistema urbano, ela reflete o desejo e o objetivo da sociedade. Para sua definição, devem-se buscar as ambições da comunidade e as diretrizes políticas.

ii. Definição dos Objetivos

Os objetivos, apesar de estarem relacionados a todo o sistema urbano, são diretamente influenciados pelo sistema de transporte.

Os objetivos são uma "sub-meta" que ao menos teoricamente, poderiam ser medidos e alcançados. Podem ser muito amplos e ter desde um caráter mais corretivo, visando resolver problemas de congestionamentos ou mais preventivo tendo por objetivo, por exemplo, a descentralização das atividades urbanas. Sua definição exige uma grande participação da comunidade e o pleno conhecimento do problema.

iii. Diagnóstico

A fase de diagnóstico engloba um inventário da rede viária, levantamento da configuração espacial do meio urbano e a coleta de dados.

Deve-se pesquisar a conformação da malha urbana, os pontos críticos, o espaço livre e ocupado existentes, a capacidade das vias etc... Na coleta de dados, pesquisamos as atividades econômicas, o uso do solo, as características da população, a distribuição de viagens e a divisão modal.

iv. Análise

De posse dos dados, devem-se analisar os comportamentos e tendências da região em estudo e as características do sistema, e observar as limitações existentes e as facilidades que podem ser utilizadas.

v. Projeção dos Parâmetros

O planejamento é feito visando um horizonte futuro, podendo ser de 5, 10 ou 20 anos. Desta forma, necessitamos prever os comportamentos e tendências futuras. Como parâmetros importantes, podemos citar as características populacionais, do uso do solo, a geração de viagens, a previsão de tráfego e o desenvolvimento econômico.

vi. Geração de Alternativas

Deve-se deixar o mais claro possível as mudanças e tendências de cada plano, suas consequências e impactos na estrutura social e urbana. Para tanto, elaboram-se e testam-se planos alternativos baseados nas futuras tendências.

vii. Avaliação e Seleção

De posse das alternativas viáveis, avalia-se cada uma delas em relação aos objetivos, às necessidades atuais e futuras, aos impactos decorrentes, às condições econômicas e políticas. Deve-se, inclusive, considerar a hipótese de não ser feito nada.

viii. Implementação

A implementação de um sistema de transporte deve ter um acompanhamento integral a fim de solucionar problemas e redefinir os objetivos e diretrizes caso ocorram modificações no meio.

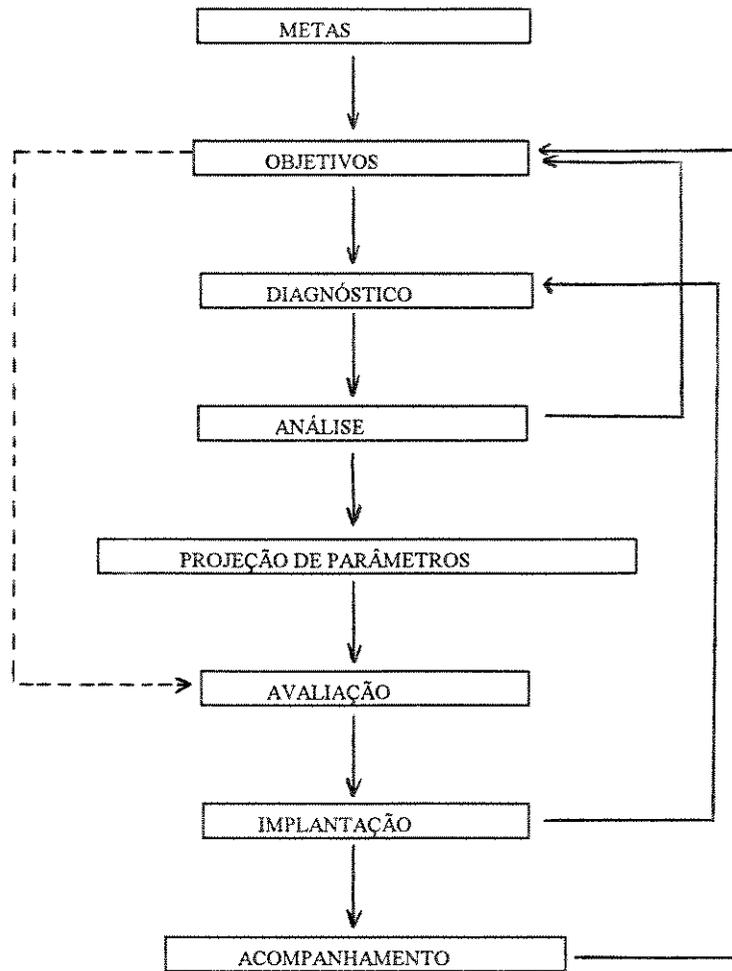
ix. Acompanhamento e Avaliação dos Resultados

Concluída a implementação, deve-se efetuar uma reavaliação periódica. Melo (1981) recomenda intervalos máximos de 5 anos para se detectarem problemas, corrigi-los e prever as necessidades e tendências futuras. O acompanhamento implica também numa revisão de objetivos.

As etapas do planejamento são dinâmicas e interativas. Foram esquematizadas na figura II.2. As fases do processo de planejamento e decisão estão estreitamente relacionadas e os agentes envolvidos devem atuar em todas as etapas de uma forma interativa. Isto não quer dizer que a comunidade, o planejador e o decisor atuam ativamente durante todo o processo. Dependendo da etapa, um dos agentes estará mais atuante, informando e discutindo os resultados com os demais. Por exemplo, o levantamento e avaliação dos dados é um procedimento técnico que deve ser efetuado pelo planejador, mas, após sua conclusão, os resultados e análises devem ser discutidos com a comunidade e o decisor.

O processo para ser eficaz deve ser estruturado. A boa decisão depende da coerência entre as ações do tomador de decisão e as metas e objetivos da comunidade. Portanto a decisão deve ser fortemente influenciada pelos hábitos, normas e princípios que governam o comportamento da sociedade, devendo facilitar e promover a oportunidade do envolvimento público.

Cabe ao planejador a compreensão de todos os aspectos envolvidos para que ele possa fornecer informações úteis. Deve entender as fases do processo, em que contexto se insere a tomada de decisão e quais os tipos de ações envolvidas.



FIGURAI.2: RELAÇÃO ENTRE AS ETAPAS DO PLANEJAMENTO

3. TIPOS DE AÇÕES POSSÍVEIS NO PLANEJAMENTO

A ação do decisor depende do tipo de problema e dos objetivos. Podemos distinguir, basicamente, cinco tipos:

3.1 Provisória

Visa manter o sistema em funcionamento. É a primeira atitude a ser tomada, antes mesmo da causa ser identificada, enquanto efetua-se a análise para detectar o problema.

3.2 Adaptativa

A ação adaptativa é utilizada quando não se pode eliminar a causa, não é possível corrigir, ao menos de imediato, o problema. Tenta minimizar os efeitos negativos tornando-os suportáveis.

3.3 Corretiva

Esta ação elimina o problema através de medidas que corrijam os defeitos. Detectada a existência do problema é a medida mais eficiente.

3.4 Preventiva

A medida preventiva é adotada antes que qualquer problema seja detectado. Utilizando a análise e projeção de parâmetros, detectam-se problemas em potencial e atua-se no sentido de evitá-los.

4. PERSPECTIVAS DA SOCIEDADE

O sistema de transporte desempenha uma série de papéis na sociedade podendo ser avaliado sob diferentes enfoques, sendo os mais importantes: o político, o econômico, o institucional, o técnico e o social.

4.1 Política

A implantação de um sistema de transporte está associada ao prazo de ação, aos recursos disponíveis e ao modo de efetuarem-se os investimentos entre os vários setores públicos.

Reflete a opinião do governo ou de um partido político, vincula-se às diretrizes políticas daquelas instâncias. Sendo assim visa uma repercussão positiva frente à comunidade, muitas vezes buscando uma imagem de desenvolvimento "moderno".

4.2 Econômica

Representada pelo economista que se preocupa com a viabilidade do sistema, com as leis que regem o mercado. Visa um equilíbrio entre a oferta e a demanda buscando a maximização dos benefícios e a minimização dos custos. Interessa-se pela relação entre transporte e economia, de modo que possibilite a realização das atividades econômicas; como o primeiro influirá na distribuição de empregos, bens e mercadorias.

4.3 Institucional

No aspecto institucional, deve-se definir a quem compete promover o planejamento, coordenar e gerenciar a implantação de um sistema de transporte. Deve-se definir, também, a quem compete operar e manter os sistemas existentes. Definem-se ainda os gestores dos recursos destinados aos investimentos no setor.

4.4 Técnica

O estudo de alternativas envolve a escolha da tecnologia e do modo de transporte adequado. Devem-se analisar as diferentes possibilidades existentes considerando-se desde a capacidade do sistema até a fonte energética utilizada e quais as facilidades e dificuldades de implementação presentes na estrutura urbana. Além disto, estuda os aspectos operacionais, a otimização do sistema, a capacidade da rede, a oferta e a demanda existentes, o fluxo de tráfego e sua distribuição espacial visando a minimização do tempo de deslocamento e a maximização da oferta.

4.5 Social

O padrão sócio-econômico de uma comunidade está diretamente associado ao sistema de transporte existente, uma vez que é através dele que se tem acesso ao trabalho, educação, lazer, saúde, etc... Além disto, há uma série de impactos ambientais e sociais decorrentes refletindo-se de maneira diferente em grupos sociais distintos.

Cabe a um cientista político, um sociólogo, um antropólogo ou a um planejador de desenvolvimento urbano estudar estes aspectos e de que modo trarão benefícios e/ou prejuízos à sociedade.

5. ABORDAGENS DO PLANEJAMENTO

O planejamento de transporte pode ter várias abordagens. Para definir quais as informações mais necessárias, o planejador deve definir qual ou quais das abordagens abaixo adotará:

5.1 Funcional

Tem um caráter técnico. Mais voltada ao aspecto funcional, deseja melhorar a eficiência do sistema, do tráfego, visa evitar congestionamentos, demora, baixa acessibilidade e acidentes.

Respalda-se no uso do solo. Uma vez definido o padrão de uso e ocupação do solo desejável então o padrão de tráfego associado a ele também pode ser determinado e é possível projetar o sistema de transporte que melhor se adapte.

5.2 Sistêmica

Nesta, a cidade é vista como um sistema em evolução, onde a inter-relação entre transporte e uso do solo é constante, intensa e importante. Caracteriza-se pela identificação e definição do sistema urbano de forma positiva e determinante na cidade.

5.3 Cíclica

Formulada por Boyce, Day e McDonald. Propuseram um sistema cíclico, com cada ciclo iniciando com a formulação de critérios de planejamento, padrão e políticas propostas para cada alternativa a ser testada. Ao final de cada ciclo, efetua-se uma avaliação e tomam-se decisões visando os aspectos que devem ser considerados no próximo ciclo. Nesta abordagem é possível assegurar diferentes metas e objetivos para cada etapa. É um processo dinâmico e interativo.

5.4 Informativa

Baseia-se no princípio de que "o mundo se move para o futuro como resultado de decisões, não de planos".

O planejamento informativo é um instrumento para dirigir e dar forma ao ambiente urbano. É visto como instrumento de controle. É aqui que vemos claramente o papel do planejador de fornecer o máximo de informações possíveis ao decisor, de analisar e avaliar as alternativas viáveis para que seja escolhida a "melhor" opção.

6. MODELOS CONCEITUAIS DE TOMADA DE DECISÃO

A tomada de decisão envolve uma série de dificuldades. Entre elas, podemos citar a estrutura e complexidade da decisão, as características e a capacidade do decisor, além do contexto organizacional e político. Isto nos leva a uma dificuldade de definir modelos de tomada de decisão. Definiremos cinco modelos baseados nos conceitos da ciência política e administrativa citados por Meyer e Miller (1984).

6.1 Racional

O modelo racional é baseado na maximização de um conjunto de metas e objetivos. O papel do decisor está claramente definido e a decisão é tomada visando esta maximização. Tem uma utilização normativa e é um poderoso instrumento à pesquisa operacional, à ciência de gerenciamento e à análise do sistema.

Requer informações precisas, uma avaliação rigorosa das alternativas e necessita de um grande esforço do planejador na avaliação e coleta de dados.

6.2 Satisfatório

Também é um modelo de abordagem racional, porém limitado pelos recursos e habilidades do decisor em adquirir e processar informações. Requer um nível mínimo de aceitabilidade, ou seja, o menor nível possível de danos e distúrbios associados a algum benefício.

Parte do pressuposto que é inviável gerar todas as alternativas admissíveis e compará-las. Admite a existência de uma solução após uma busca moderada.

6.3 Incrementalista

Difere da abordagem racional possuindo uma visão mais corretiva. Volta-se mais ao objetivo de afastar problemas do que ir na direção de metas pré-determinadas. Tem uma estratégia limitada e focaliza apenas políticas alternativas que diferem das já existentes considerando um número pequeno de possibilidades. Não apresenta uma decisão, mas uma série de atitudes e medidas adotadas para melhorar o presente.

6.4 Organizacional

Baseia-se no reconhecimento de que os indivíduos pertencem a organizações e que o processo de decisão é influenciado pelas estruturas organizacionais. Necessita absorver diferentes objetivos, barganhar entre as organizações e buscar o consenso.

6.5 Acordo Político

Esta abordagem introduz, claramente, o caráter político do processo de decisão e a importância da distribuição de poder. Baseia-se, sobretudo, na necessidade de acordos. Tem uma visão múltipla do processo e reconhece como os vários atores, com diferentes metas e objetivos gerando conflitos, levam à necessidade de acordos. A alternativa implementada pode não ser a solução "ótima", podendo inclusive ser temporária devido aos impasses surgidos.

Neste modelo o papel do planejamento é mais amplo e deve fornecer o máximo de informações a respeito das alternativas propostas por cada grupo. Pressupõe flexibilidade e respostas rápidas às necessidades surgidas durante a negociação.

III. ASPECTOS TÉCNICOS-OPERACIONAIS

O planejamento de um sistema de transporte deve ser eficaz e oferecer condições de deslocamento à população a um nível de serviço que esteja de acordo com as necessidades e objetivos da comunidade.

Um dos aspectos relevantes no processo de tomada de decisão refere-se à tecnologia adotada. Melo (1981) cita também a importância de fatores diversos como disponibilidade de recursos, políticas energéticas e o nível de serviço.

Com o intuito de auxiliar o estudo das alternativas apresentaremos, além dos diferentes modos de transporte público, um breve resumo dos aspectos técnicos-operacionais citados por Melo (1981), Vuchic (1991) e Hutchinson (1979). Consideraremos os seguintes aspectos:

1. Modo(s) de transporte
2. Modo(s) de operação
3. Nível de Serviço
4. Outras características
5. Alternativas tecnológicas

1. CLASSIFICAÇÃO POR MODO DE TRANSPORTE

Definem-se três tipos de categorias baseadas na operação e no tipo de usuário:

1.1 Privado

Consiste em veículos próprios, operados pelo proprietário ou motorista. ex: carros, motos, bicicleta. O deslocamento a pé enquadra-se nesta classificação.

1.2 De Aluguel

Transporte fornecido por um operador e disponível a toda população mediante um contrato de uso. ex: táxi, ônibus fretado, lotação.

1.3 Público

Sistema de transporte com itinerário pré-definido, disponível a toda população mediante pagamento de uma tarifa pré-estabelecida. ex: ônibus, metrô, trem

2. CLASSIFICAÇÃO POR MODO DE OPERAÇÃO

Definido por três características: faixa de domínio, tecnologia e tipo de serviço.

2.1 Faixa de Domínio

Faixa de solo onde o veículo opera e sua relação espacial com o meio físico. Há três tipos básicos definidos pelo grau de separação do restante do tráfego.

- Categoria C: aberta, trânsito misto; pode haver um tratamento preferencial como faixas reservadas, separadas por linhas ou sinais especiais.
- Categoria B: parcialmente segregada; separada física e longitudinalmente por muretas, grades, mas com cruzamentos e intersecções semaforizadas para travessia de pedestres e automóveis.
- Categoria A: completamente segregada; não há intersecções em nível ou qualquer acesso a outros veículos.

2.2 Tecnologia

Refere-se às categorias mecânicas dos veículos e das vias e inclui:

- o contato do veículo com o tipo de pavimentação: asfalto, concreto, aço, etc...
- a fonte energética: gasolina, álcool, diesel, gás, elétrico e magnético;

- a capacidade de aceleração e desaceleração;
- o espaçamento, físico ou temporal, de um ou todos os veículos em um sistema;
- nível de automação do sistema.

2.3 Tipo de Serviço

O tipo de serviço pode ser classificado pelas características do tipo de rota e viagem, pela parada e pelo horário de funcionamento.

A rota de uma linha refere-se ao tipo de percurso efetuado que pode ser:

- intermunicipais: interligam dois ou mais municípios conurbados;
- diametrais: ligam dois bairros passando ou tangenciando a região central;
- circulares: apresentam um itinerário perimetral. Trafegam em um único sentido e com apenas um ponto terminal;
- radiais: unem os bairros à região central;
- interbairros: interligam dois bairros sem passar pela região central;
- locais: trafegam somente dentro do bairro.

As linhas apresentam diversos tipos de movimento podendo ser divididas em:

- troncais: operam sobretudo em grandes corredores com elevadas demandas;
- alimentadoras: captam e distribuem os usuários conduzindo-os para as linhas troncais;
- convencionais: executam a função tanto da troncal quanto da alimentadora;
- seletivas: possuem um serviço especial com melhor nível de serviço e uma tarifa mais elevada. Tem a finalidade de mudar os hábitos da população.

De acordo com a demanda e a finalidade da linha as paradas podem ser em maior ou menor quantidade. Definimos os seguintes tipos:

- paradoras: atendem todos os pontos de parada e estações ao longo do itinerário ou quando solicitadas;
- semi-expressas: possuem um número reduzido de paradas pré-determinadas;
- expressa: trajeto realizado com nenhuma ou poucas paradas ao longo do itinerário apresentando uma velocidade média maior que as anteriores.

Os horários de funcionamento também diferem. Os principais são:

- regular: operam durante a maior parte do dia;
- serviço no pico: operam somente no horário de pico;
- especial: operam em condições de emergência ou eventos especiais como feiras e celebrações públicas.

3. CLASSIFICAÇÃO PELO NÍVEL DE SERVIÇO

Refere-se à qualidade dos serviços prestados ao usuário, englobando:

- acessibilidade
- segurança
- conforto
- confiabilidade
- custo
- rapidez

4. OUTRAS CARACTERÍSTICAS

O sistema pode ainda ser classificado quanto:

4.1 À Capacidade de Transporte

Refere-se ao número de passageiros transportados por hora e sentido. Baseado em várias classificações distintas pode-se definir as seguintes faixas:

- Baixa Capacidade: até 15.000 passageiros/hora/sentido
- Média capacidade: de 15.000 a 30.000 passageiros/hora/sentido
- Alta capacidade:: acima de 30.000 passageiros/hora/sentido

4.2 Ao Desempenho

Ao avaliarmos o desempenho de um modo de transporte devemos analisar:

- velocidade de operação
- segurança : número de acidentes ou danos materiais
- capacidade do veículo
- produtividade: volume de passageiros transportados/capacidade

4.3 Aos Impactos

Efeitos de curto ou longo prazo causados ao meio ambiente e à sociedade. Tanto podem ser positivos, como o aumento da acessibilidade, como negativos gerando, por exemplo, congestionamento ou aumento da poluição.

4.4 Aos Custos

Os custos devem ser divididos em custos de investimento e custos de operação.

O primeiro, ou custos de capital, são os investimentos necessários à implantação do sistema, incluindo obras, desapropriações, aquisição de veículos etc.... O segundo são os custos devido à operação, ou seja, manutenção, infra-estrutura necessária, mão de obra e custo da rodagem.

5. ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS

5.1 Ônibus

De todas as tecnologias disponíveis, o ônibus é a que apresenta uma maior diversificação, o que o leva a ter uma grande flexibilidade.

Existe uma variedade de tipos de veículos e formas de operação. Desde o mini-ônibus com capacidade média de 15 passageiros por veículo até o articulado comportando 125

passageiros por veículo. Relacionamos na tabela III.1 os tipos de veículos mais utilizados com suas principais características.

	CAPACIDADE		
	SENTADOS	DE PÉ	TOTAL
MICRO-ÔNIBUS	17 - 20	18 - 30	35 - 50
2 ANDARES	55 - 75	0 - 20	60 - 95
COMUM	20 - 40	60 - 75	80 - 115
ARTICULADO	40 - 50	115 - 125	125 - 175

TABELA III.1: CAPACIDADE DE TRANSPORTE DE DIFERENTES TIPOS DE ÔNIBUS

FONTE: (GEIPOT, 1976), PROJETO DE INOVAÇÕES TECNOLÓGICAS DE TRANSPORTES URBANOS

No Brasil, a utilização do micro-ônibus é mais restrita ao transporte de aluguel ou alguns tipos de serviços especiais como traslado aos aeroportos. Os veículos mais utilizados são do tipo Comum ou Padron, maior que o comum comportando em média 110 passageiros a um nível de serviço razoável.

O ônibus urbano é o modo de transporte mais utilizado e podemos citar entre as causas (Mercedes-Benz, 1987):

- requer menor investimento inicial;
- tem maior flexibilidade de itinerário e expansão de trajeto;
- rapidez e facilidade de implantação;
- possibilidade de atender demandas na faixa de média capacidade.

Entretanto os sistemas de ônibus convencional podem apresentar vários problemas, entre eles:

- baixas e médias velocidades de operação por dividirem o espaço viário com outros modos de transport;
- falta da infra-estrutura necessária;
- dificuldade de atender altas demandas.

Com o intuito de melhorar o serviço, otimizar o sistema podem-se adotar medidas que aumentem a eficiência do mesmo. A melhor forma é priorizando o modo ônibus, criando faixas separadas e dando preferência nos cruzamentos.

Estudos do Metrô de São Paulo mostram que o ônibus a diesel simples tem uma capacidade de 4 mil passageiros/hora/sentido e o articulado, 15 mil passageiros/hora/sentido. Entretanto como os ônibus podem operar em diferentes faixas de domínio sua capacidade pode ser ampliada. Os ônibus podem operar também no sistema COMONOR (comboio ordenado): eles trafegam em agrupamentos de seis veículos, que andam e param ao mesmo tempo e possuem pontos distintos para cada carro, é um sistema parecido a uma composição do metrô.

Esta grande flexibilidade de veículos e operação fornece ao sistema de ônibus muitas vantagens, além de ser o modo de menor custo de operação e implantação por passageiro transportado. Podemos citar entre elas: ocupação de menor espaço na via, grande acessibilidade, possibilidade de operar tanto a gás¹ quanto a diesel e o fato de ser um modo de transporte de baixa e média capacidade (Mercedes-Benz, 1987).

5.2 Trolebus

Foi implantado pela primeira vez em Londres no ano de 1882. No Brasil a primeira cidade a ter um sistema de trolebus foi São Paulo em 1949.

Perdeu a preferência para o ônibus, que é mais flexível, tem menor custo de implantação e, na época, o petróleo ainda era uma fonte energética barata. Com a crise do petróleo, em 1973, o governo volta a investir nesta área, entretanto sua implantação foi muito controversa, primeiro devido aos altos custos de investimento e em segundo devida à crise energética, mostrando que a energia elétrica não é abundante.

O que diferencia o trolebus do ônibus é a propulsão. Movido a energia elétrica, apresenta a vantagem de economizar combustível derivado do petróleo e causar uma menor poluição sonora e atmosférica. A alimentação dos veículos é feita por via aérea, o que causa uma rigidez de percurso, não podendo utilizarem-se rotas alternativas e afetando a manobrabilidade. Outro problema é referente à desconexão de rede elétrica que foi solucionado com a instalação de motores a combustão auxiliares.

A instalação do trolebus requer um maior investimento que o sistema de ônibus, tanto para a rede aérea como para a aquisição de veículos. Segundo Melo (1981), pode representar um acréscimo da ordem de 25 a 60% dependendo do porte do sistema. Uma parte deste investimento é amortizado na duração de vida do veículo que é maior que o

¹Os ônibus a gás ainda encontram-se em fase de teste. Há pesquisas sendo efetuadas em relação a autonomia energética e aos impactos ambientais. Algumas cidades, como o Rio de Janeiro e São Paulo, possuem alguns veículos a gás em sua frota.

ônibus. Segundo a CMTC os tempos de vida útil são: rede aérea 20 anos, subestações 30 anos e veículos 20 anos.

5.3 Pré-Metrô

O pré-metrô é considerado como a evolução natural dos bondes. Sob esta denominação encontram-se todas as variedades de transportes guiados a propulsão elétrica englobando desde os velhos bondes até o VLT .

O VLT é um modo de transporte que utiliza trens leves, com uma ou mais composições e opera sobre trilhos na superfície e tem espaçamento mínimo entre as estações.

Sua capacidade de transporte varia de acordo com o modo de operação e a quantidade de carros na composição. Pode transportar de 500 a 1.000 passageiros com headways inferiores a 3 minutos atendendo de 15.000 a 30.000 passageiros/hora/sentido (Alouche, 1992). De acordo com estudos do GEIPOT, o VLT atende a uma demanda entre 15.000 e 35.000 passageiros/hora/sentido, com parada a cada 600m e opera com velocidade entre 15 e 30 km/hora.

Apresenta um bom nível de segurança e baixo índice de poluição atmosférica. Como muitas vezes opera em vias segregadas e há necessidade de estações de embarque e desembarque, o VLT pode causar uma alta segregação urbana e intrusão visual.

Uma grande vantagem do VLT é a possibilidade de utilizar antigos leitos ferroviários desativados, a sua troca pelo metrô é fácil e inclusive não necessita de muitas desapropriações por ter uma grande faixa de solo já reservada. Entretanto, deve-se verificar se estes leitos ferroviários ainda correspondem a eixos de deslocamentos e se realmente existe uma demanda que justifique sua implantação.

5.4 Trem

O trem suburbano é uma modalidade utilizada em corredores de grande demanda, podendo atingir a capacidade de 90 mil passageiros/hora (Melo, 1981).

A sua diferença em relação ao metrô é que por ter uma estrutura mais pesada, possui um maior tempo de aceleração/desaceleração o que faz com que as estações fiquem mais

espaçadas, portanto não é um modo utilizado nas regiões centrais, mas nas ligações da bairros periféricos à região central efetuando uma integração modal.

Há uma tendência de substituição do trem suburbano pelo metrô pesado, como o RER de Paris. No Brasil, ele ainda é utilizado nos antigos leitos já existentes, sendo que a extensão em condições de utilização diminuem ano a ano, não havendo manutenção ou qualquer investimento nesta área. Desta forma os deslocamentos que poderiam utilizar esta modalidade, tornando o transporte mais rápido e eficaz, voltam-se para o ônibus acarretando viagens mais longas e superlotação.

5.5 Metrô

Apesar de já estar em operação há mais de cem anos em algumas cidades como Londres e Paris, ainda é muito pouco utilizado no Brasil. É um modo de transporte de alta capacidade, chegando a comportar 2000 passageiros por composição e transportando de 60 a 90 mil passageiros por hora/sentido (Melo, 1981). Opera sobre trilhos em faixa tipo A, inicialmente era subterrâneo e atualmente também pode ser de superfície. A alimentação, normalmente, é feita através de um terceiro trilho mas pode ser aérea. Sua operação pode ser totalmente automatizada e controlada por um sistema de computadores a partir de uma central de controle.

Por ter uma grande capacidade de aceleração/desaceleração é perfeitamente adaptável à região urbana, pois permite um espaçamento pequeno entre as estações mantendo uma velocidade média de 25 a 39 Km/h. Recomenda-se que a distância entre as estações não ultrapasse 800m (Melo, 1981).

Devido ao seu alto custo de implantação, de 85 a 115 milhões de dólares por Km (Wright, 1989) com trechos subterrâneos e elevados, é recomendável para altas demandas. Melo (1981) recomenda que seja superior a 40 mil passageiros hora/sentido.

Deve ser um sistema de transporte troncal, alimentado por uma rede de integração com os outros modos de transporte como ônibus, trem, carro, etc...

5.6 Sistema O-BAHN

O sistema O-Bahn consiste em uma modalidade dual, opera como ônibus em vias normais ou sobre trilhos em vias segregadas.

As vias segregadas são formadas por canaletas com guias laterais. Uma grande vantagem é de ocupar menor espaço no solo. Sua via segregada necessita de 2,6m de largura contra um mínimo de 3,5m para o ônibus convencional. Esta economia reflete em menor desapropriação de imóveis, nas obras de translação da rede elétrica, gás e água (Araujo, 1989).

Tecnologicamente o veículo O-Bahn é um ônibus comum, que pode ser simples, padrom, articulado, movido a qualquer fonte energética. Adaptam-se roletas de borrachas aos eixos do veículo para sua condução na via segregada e rodas de aço, envolvidas por pneus, no eixo dianteiro para possibilitar a saída das canaletas.

A vantagem do sistema é poder operar em corredores de alta demanda, com uma velocidade próxima ao transporte sobre trilhos e depois, como ônibus convencional, nos bairros e nas regiões periféricas, evitando translados e terminais de integração.

Estudos feitos pela Secretaria Municipal de Transportes de São Paulo para um sistema composto por ônibus com portas dos dois lados do veículo, estações de cobrança externa, operação em comboios de 6 carros, a uma velocidade média de 30 Km/h, possibilitando o fluxo de 300 ônibus/hora com capacidade de transporte na ordem de 50.000 passageiros hora/sentido apontam a relação de custos para implantação do sistema (Campos, 1990), resumidos na tabela III.2 . A adaptação das rodas auxiliares de direcionamento custa aproximadamente 8% do valor do veículo.

O sistema O-Bahn começou a ser operado comercialmente em 1980 na cidade de Essen, Alemanha. e em 1986 em Atalaide, Austrália.

	US\$ MILHÕES / KM
FAIXA EXCLUSIVA NORMAL	0.15
CANALETA	1.50
VIA ELEVADA	7.0
VIA SUBTERRÂNEA	23.00

TABELA III.2: CUSTO DE IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA "O-Bhan"
 FONTE: CAMPOS, L.P.G. (1990), METRÔ RODOVIÁRIO - PRIORIDADE PARA O
 TRANSPORTE SOBRE PNEUS

6. IMPACTOS OPERACIONAIS

Os impactos operacionais referem-se às alterações na eficácia, no desempenho e nas condições nas quais opera o sistema. As diferenças intrínsecas de cada tecnologia causarão diferentes amplitudes nos impactos.

6.1 Eficácia

A eficácia de um sistema de transporte está relacionada ao nível de serviço prestado aos usuários. Desta forma, ao alterarmos o sistema de transporte existente haverá impactos nos seguintes parâmetros:

- acessibilidade
- conforto
- confiabilidade
- rapidez

6.2 Desempenho

O desempenho está relacionado às características operacionais e deste modo interferem na:

- velocidade
- segurança
- capacidade
- produtividade

6.3 Condições de operação

As condições de operação interferem na eficácia, desempenho e são influenciadas pelo sistema viário. De acordo com o modo de operação teremos diferentes impactos na(o) :

- estrutura da malha urbana e de transportes
- fluidez do tráfego
- integração modal
- meio ambiente

6.4 Tecnologias

As várias tecnologias causam por si só vários impactos independentemente de fatores externos, como congestionamentos, quantidade de poluentes emitidos etc...

Na tabela III.3 resumimos a magnitude de diferentes impactos referentes às diferentes tecnologias e modo de operação, independentemente de quaisquer outros parâmetros ou características urbanas.

MODO	DESEMPENHO	EFICÁCIA	OPERAÇÃO	POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA	POLUIÇÃO SONORA	VIBRAÇÃO	INTRUSÃO VISUAL	SEGREGAÇÃO URBANA	CUSTO
ÔNIBUS FAIXA C	RUIM	RUIM	REGULAR	MÉDIA	MÉDIA	MUITO BAIXA	MUITO BAIXA	BAIXA	MUITO BAIXO
ÔNIBUS FAIXA B	BOM	BOA	BOA	ALTA	MÉDIA	BAIXA	MÉDIA	MÉDIA	BAIXO
ÔNIBUS FAIXA A	BOM	MUITO BOA	MUITO BOA	MUITO ALTA	ALTA	MÉDIA	ALTA	ALTA	MÉDIO
VLT	MUITO BOM	MUITO BOA	MUITO BOA	MUITO BAIXA	MUITO ALTA	ALTA	MUITO ALTA	MUITO ALTA	ALTO
METRÓ SUPERFÍCIE	ÓTIMO	ÓTIMA	ÓTIMA	MUITO BAIXA	MUITO ALTA	MUITO ALTA	MUITO ALTA	MUITO ALTA	MUITO ALTO
METRÓ ELEVADO	ÓTIMO	ÓTIMA	ÓTIMA	MUITO BAIXA	MUITO ALTA	MUITO ALTA	MUITO ALTA	ALTA	MUITO ALTO
METRÓ SUBTERRÂNEO	ÓTIMO	ÓTIMA	ÓTIMA	MUITO BAIXA	MUITO BAIXA	ALTA	BAIXA	BAIXA	MUITO ALTO

TABELA III.3: ORDEM DE GRANDEZA DE DIFERENTES IMPACTOS EM RELAÇÃO A DIFERENTES MODOS DE TRANSPORTE

Escala utilizada em ordem crescente:

1. ruim - regular - bom - muito bom - ótimo
2. muito baixo - baixo - médio - alto - muito alto

IV. USO DO SOLO E CONFIGURAÇÃO URBANA

O estudo e a compreensão do sistema urbano, do uso do solo e suas relações, são fundamentais no contexto do planejamento de transporte, pois é através da distribuição das atividades na cidade que podemos determinar a geração, a distribuição e a demanda por transporte.

A localização das atividades no espaço urbano difere para cada finalidade e cidade. Uma indústria e uma escola possuem diferentes objetivos e necessidades e assim buscam a localização mais adequada na estrutura em que estão inseridas. Outro aspecto relevante refere-se à utilização do sistema de transporte como fator indutor do crescimento urbano, pois pode ser uma ferramenta útil no seu direcionamento.

Para entendermos a relação entre o uso do solo e o sistema de transporte é necessário a compreensão da estrutura urbana, os mecanismos que determinam a localização e a hierarquia das atividades e de que maneira a acessibilidade influencia estes fatores.

1. ESTRUTURA URBANA

O núcleo urbano, as redes de comunicação e de transporte surgem da necessidade humana de realizar atividades no espaço, devendo então, estes sistemas propiciar o desenvolvimento facilitando a participação nas atividades, deste modo levando a uma melhoria nas condições de vida da população.

Entender de que modo esta estrutura está organizada é fundamental à implantação e à organização da rede de transporte. A configuração espacial define as necessidades de movimento existente e qual sistema é o mais indicado. Além disto, esta compreensão possibilita a minimização dos impactos negativos e de obras desnecessárias.

Os padrões de uso do solo são condicionados basicamente pelos processos de crescimento econômico e social que se manifestam através dos setores imobiliários e de transporte. São estes padrões que determinam a estrutura urbana. Com a finalidade de entendermos estes padrões estudaremos duas características da estrutura urbana: a física e a funcional.

1.1 Características Físicas

A localização de uma atividade urbana, seja ela residencial, comercial, de serviços ou industrial, é determinada pela configuração espacial e pelas vantagens oferecidas por cada local, tais como, infraestrutura, área livre, acessibilidade, etc... (Mello e Clichevsky, 1980).

As características físicas referem-se à organização e à distribuição das atividades e à configuração espacial. Definiremos cinco tipos básicos de configuração espacial.

1.1.1 Linear

Na estrutura linear os centros de serviço estão localizados ao longo de um corredor, os domicílios nas transversais e o emprego na periferia.

Este tipo de estrutura desenvolveu-se muito em função da influência de ferrovias e rios. Seu transporte é feito basicamente por um corredor central com intuito de que os deslocamentos sejam realizados a pé. Caso isto não ocorra, e como os deslocamentos são em sua maioria dirigidos ao corredor central, a velocidade de deslocamento torna-se baixa.

Estudos realizados por Doxiadis (1968) concluem que as cidades lineares só são possíveis para pequenas aglomerações ou partes de uma cidade com esta característica, mas não para uma cidade consolidada. De acordo com o autor, as cidades lineares tenderão a tornarem-se concêntricas. Já Buchanan (1968) considera que este tipo de formação inicial resultará em uma estrutura em malha.

1.1.2 Concêntrica

Formada por círculos concêntricos ao redor do centro regional, cada um com características próprias e a cada zona corresponde um tipo de atividade.

Este tipo de estrutura leva a um grande deslocamento para a região central, ou suas proximidades, causando longos tempos de percurso, e só teremos um deslocamento satisfatório através do transporte público, caso contrário, ocorrem congestionamentos. Esta estrutura é muito rígida, com áreas muito limitadas e assim qualquer crescimento desigual de uma zona em relação à outra modificará a relação dos espaços com o centro da cidade, além de ter uma malha de transporte muito rígida que não consegue atender uma variação da demanda. Pela sua rigidez está muito exposta a deformações podendo se transformar numa estrutura linear antes de sua consolidação e conseqüentemente em malha (Buchanan, 1968).

1.1.3 Em malha

Esta estrutura é formada por células pertencentes a uma rede. A malha urbana é formada pelas ligações da rede de transporte. As atividades encontram-se dispersas em todas as direções e dependem da estrutura da malha de transporte.

Nesta conformação, a estrutura de transporte já apresenta uma hierarquia e podemos ampliar o conceito para uma malha direcional, onde temos esta hierarquia mais especializada.

1.1.4 Radial

A estrutura radial apresenta um centro regional claramente definido, com alta densidade demográfica e as demais atividades localizam-se ao longo das vias de acesso ao centro, formando corredores radiais, distintos, de acordo com a renda da população e o tipo de atividade. Segundo Ferrari (1988), a estrutura radial é uma evolução das zonas concêntricas. Os setores concêntricos, ao se desenvolverem, abrem-se em leques formando os corredores a partir da área central.

1.1.5 Centros múltiplos

A estrutura urbana de centros múltiplos pode apresentar diversos aspectos e assemelha-se a um mosaico, mas todos basicamente são constituídos de uma área central e de bairros relativamente desenvolvidos. As diferentes regiões tendem a se tornarem centros especializados de determinada atividade. Apresenta uma tendência à descentralização.

As cidades não necessariamente possuem um padrão fixo, podem ter uma configuração espacial que seja uma combinação de vários tipos de estrutura urbana de acordo com seu processo histórico, condições topográficas, como a presença de rios ou vales,

características sócio-culturais, políticas de transporte e de uso e ocupação do solo entre outros fatores.

1.2 Características Funcionais

As características funcionais referem-se às hierarquias de movimento e de atividade. Elas nos mostram de que modo ocorrem os deslocamentos.

Os membros de uma residência efetuam uma série de movimentos durante a semana, desde ir ao trabalho, compras, escola, até com a finalidade de lazer. Deste modo a necessidade de deslocamento está relacionado ao tipo de atividade e a sua localização.

Como visto no item anterior, a localização das atividades e a rede de transporte associado dependem da configuração espacial da cidade. Cada uso diferenciado do espaço tem uma capacidade diferente de gerar e atrair viagens. Deste modo alguns locais geram muitas viagens, outros atraem e há locais que atendem à população que reside nas proximidades não gerando um grande fluxo de pessoas. Estas variações no tamanho e na quantidade de deslocamentos acarretam uma hierarquização das vias de acordo com a finalidade e o fluxo de transporte existente.

Podemos classificar as vias em:

- **Locais:** distribuem o tráfego nas áreas de atividades. Possuem baixa velocidade e pouco fluxo.
- **Coletoras:** unem as vias locais às arteriais. Apresentam uma velocidade menor, as intersecções nem sempre são semaforizadas e o fluxo é pequeno.
- **Arteriais:** ligam as vias coletoras às expressas. Devem apresentar um movimento livre e rápido e intersecções semaforizadas.
- **Perimetrais:** contornam a área central da cidade. Apresentam as características das vias arteriais.
- **Expressas:** para grandes volumes de tráfego e alta velocidade. Não devem possuir intersecções.

2. RELAÇÃO ENTRE USO DO SOLO E TRANSPORTE

A compreensão entre o sistema de transporte e uso do solo, relação cíclica e recíproca, mostra quais os aspectos que realmente influenciam este ciclo, uma vez que nem todas as alterações quer no uso do solo, quer no sistema de transporte, geram efeitos múltiplos.

Ações sobre um sistema de transporte provocarão mudanças no uso do solo quando afetarem a acessibilidade e, para que alterações no uso do solo reflitam no sistema de transporte, devem ocorrer mudanças na geração de viagens. As transformações tanto no uso do solo quanto no sistema de transporte podem ser causadas por uma série de fatores indiretos. Podemos ver claramente este processo através da figura IV.1.

Se iniciarmos o ciclo por uma alteração no uso do solo haverá uma variação no número de viagens e, conseqüentemente, na demanda sobre o sistema de transporte ocasionando uma transformação no último.

Agora digamos que houve uma transformação no sistema de transporte ocasionando um aumento da acessibilidade. Conseqüentemente teremos um aumento de demanda por atividade, modificando o uso do solo.

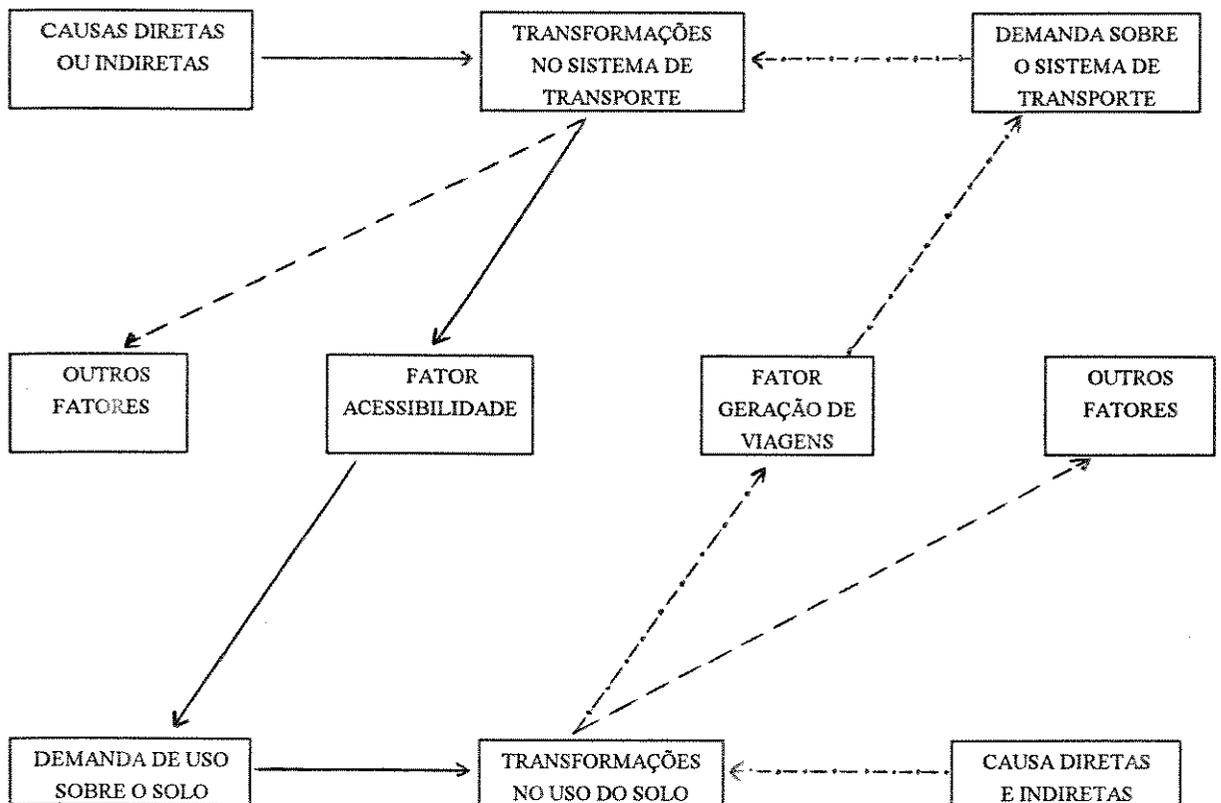


FIGURA IV. 1: RELAÇÕES ENTRE USO DO SOLO E TRANSPORTE
 FONTE: MELLO E CLICHEVSKY (1980), USO DO SOLO E TRANSPORTES URBANOS

2.1 Acessibilidade

A acessibilidade foi definida por Wingo (1972) como: "uma qualidade relativa que favorece uma parcela do solo em virtude de sua relação com o sistema de transporte que opera a um determinado nível de serviço".

A noção de acessibilidade não diz respeito somente à relação de distância, mas à "facilidade" ou "dificuldade" de se chegar a determinado local. Sua análise engloba a distância física, o tempo, o custo de deslocamento e a disponibilidade de transporte.

Os parâmetros associados à acessibilidade quando nos referimos ao transporte privado são a configuração da malha viária, a geometria das vias, o tipo de pavimento, a velocidade de deslocamento e a facilidade de estacionamento. Já, ao associarmos ao

transporte público, devemos analisar a configuração do itinerário, a frequência, a confiabilidade, o número de transbordos, a capacidade, a lotação do veículo e a tarifa.

Na figura IV.2 temos uma relação de variáveis que influem na acessibilidade.

TIPO DE TRANSPORTE	VARIÁVEIS
PÚBLICO	CONFIGURAÇÃO DOS ITINERÁRIOS FREQUÊNCIA, CONFIABILIDADE CAPACIDADE, NÍVEL DE SERVIÇO CUSTO
PRIVADO	CONFIGURAÇÃO DA MALHA VIÁRIA GEOMETRIA DAS VIAS TIPO DE PAVIMENTAÇÃO VELOCIDADES POSSÍVEIS CAPACIDADE DE ESTACIONAMENTO

FIGURA IV.2: VARIÁVEIS QUE INFLUEM NA ACESSIBILIDADE
FONTE: MELLO E CLICHEVSKY (1980), USO DO SOLO E TRANSPORTES URBANOS

2.2 Geração de Viagens

A geração de viagens está diretamente ligada ao uso do solo, ou mais especificamente à atividade realizada em determinada área. Se modificarmos este "equilíbrio", estaremos alterando a necessidade de deslocamento da ou para a região, o que conseqüentemente demandará alterações no sistema de transporte.

Motivos distintos de deslocamentos geram diferentes quantidades de viagens. A maior parte delas é devido a trabalho que se vincula às atividades industriais, comerciais e de gestão. A quantidade gerada por cada uma das atividades citadas depende principalmente da localização, horário de funcionamento e do porte ou capacidade do estabelecimento. Na figura IV.3 resumimos as principais atividades urbanas e os principais parâmetros que influenciam a geração de viagens

ATIVIDADES	PARÂMETROS
INDUSTRIAIS	LOCALIZAÇÃO EM RELAÇÃO ÀS RESIDÊNCIAS NÚMERO DE EMPREGOS (PORTE) CARACTERÍSTICAS DA POPULAÇÃO HORÁRIOS DE TRABALHO
HABITAÇÃO	DENSIDADE POPULACIONAL RENDA FAMILIAR TIPO DE HABITAÇÃO POSSE DE VEÍCULO OCUPAÇÃO DA FAMÍLIA
EDUCAÇÃO	LOCALIZAÇÃO EM RELAÇÃO AOS DOMICÍLIOS CONCENTRAÇÃO (TAMANHO E ATIVIDADE) MATRÍCULAS DISPONÍVEIS HORÁRIOS DE FUNCIONAMENTO
LAZER	LOCALIZAÇÃO EM RELAÇÃO À MALHA VIÁRIA LOCALIZAÇÃO EM RELAÇÃO AOS DOMICÍLIOS TIPO DE ATIVIDADE
SAÚDE	TIPO DE SERVIÇO PRESTADO CAPACIDADE DO ESTABELECIMENTO HORÁRIO DE ATENDIMENTO
GESTÃO	NATUREZA DO ESTABELECIMENTO PORTE DO ESTABELECIMENTO HORÁRIO DE FUNCIONAMENTO
COMÉRCIO ATACADISTA	NATUREZA DO ESTABELECIMENTO ESPECIALIDADE HORÁRIO DE FUNCIONAMENTO
COMÉRCIO VAREJISTA	PORTE DO ESTABELECIMENTO ESPECIALIDADE HORÁRIO DE FUNCIONAMENTO TIPO DE CLIENTELA

FIGURA IV.3: VARIÁVEIS QUE INFLUEM SOBRE A GERAÇÃO DE VIAGENS
FONTE: MELLO E CLICHEVSKY (1980), USO DO SOLO E TRANSPORTES URBANOS

3. IMPACTOS NA CONFIGURAÇÃO URBANA

Os impactos na configuração urbana referem-se às alterações no sistema urbano, no uso, ocupação e valor do solo .

3.1. Uso do Solo e Configuração Urbana

As alterações no uso do solo e na configuração espacial alteram-se com o tempo devido a diversos fatores. Estes fatores podem ser de caráter espontâneo ou devido a intervenções públicas como a implantação de novos e melhores meios de transporte. Historicamente as áreas urbanas transformaram-se à medida que novas tecnologias de transporte passaram a ser utilizadas, (Mello e Clichevsky, 1980).

Como visto na relação entre uso do solo e transporte (figura IV.1) a variação na acessibilidade ocasionará uma alteração no uso e ocupação do solo. Áreas que eram basicamente residenciais podem tornar-se comerciais e de serviço. Locais que apresentavam uma baixa densidade urbana iniciam um processo de adensamento e expansão vertical.

Estudos feitos pelo Metrô-SP (1980) concluem que, em muitas regiões próximas a construção de uma nova linha de metrô onde ainda há um predomínio de um pequeno comércio local e residências de classe média e média baixa, tenderão a dar lugar a edifícios comerciais e habitações para a classe média e média-alta, além de uma intensificação das atividades comerciais e de serviço na região. O mesmo estudo prevê a ocupação e adensamento dos "vazios urbanos", áreas com baixas densidade ocupacionais que se encontram entre regiões de alta ocupação.

Sendo o transporte um indutor urbano, através da implantação de um sistema pode-se incentivar o desenvolvimento de uma região e desta forma induzir o crescimento da cidade de acordo com padrões desejáveis. Isto ficou claro quando da implantação da terceira linha do metrô de São Paulo em que um dos objetivos era fugir do padrão radio-concêntrico da cidade, incentivando outra forma de urbanização (Metrô-SP, 1980).

Ao analisarmos a variação no uso e ocupação do solo, devemos ficar atentos às leis de zoneamento e às políticas públicas devido a estreita relação existente entre eles.

3.2 Valor do Solo

A implantação de um novo sistema de transporte numa região ocasionará uma alteração na acessibilidade, deste modo alterando as características da região e tornando-a atrativa a novas atividades. Esta disputa pelo mercado leva a uma elevação do valor do solo no mercado imobiliário. Este aumento do valor do solo ocasionará uma mudança no seu uso e ocupação. A população de renda mais alta pode pagar mais caro pelo local de moradia, enquanto que a população de renda mais baixa, não podendo arcar com o valor do solo, procura locais mais baratos, ou seja, de menor acessibilidade, tendendo a deslocar-se para a periferia dando espaço a novas atividades.

3.3 Utilização do Espaço Viário

Ao analisarmos algumas cidades do mundo, veremos que a área do solo destinada ao transporte, incluindo vias, calçadas e áreas de estacionamento, é muito variável e está de certa forma vinculada ao processo histórico.

As cidades que não evoluíram em função do automóvel tem uma área menor destinada ao transporte. Podemos citar Paris com 23% e Londres com 21% do solo destinado a esta atividade enquanto Los Angeles, que é uma cidade nova, desenvolvida sob uma política rodoviarista, tem 69% do solo comprometido com o sistema de transporte (Merlin, 1984). O transporte consome de 3 a 4 vezes menos espaço em Paris e Londres do que em Los Angeles. Este fato deve-se à priorização de diferentes modos de transporte que consomem quantidades maiores ou menores do solo. Merlin (1984) afirma que o transporte público, em horários de pico, utiliza 10 vezes menos espaço que o automóvel.

Esta utilização de espaço trouxe um novo conceito: o consumo de espaço-tempo cuja unidade é o $m^2 \times hora$. Este conceito refere-se à produtividade intrínseca de cada modo de transporte através da quantificação do espaço de solo consumido em relação ao tempo.

Os diferentes modos de transporte necessitam de diferentes tipos e quantidades de espaço: os pedestres, somente da calçada; os automóveis, da via e de locais de estacionamento; os transportes públicos, muitas vezes, de vias espaciais. Este fato gera diferentes consumos de espaço x tempo.

Marchand e Vivier (1987) definem os seguintes valores para este parâmetro.

- Consumo de espaço com a finalidade de estacionamento, por pessoa por modo de transporte (C_{s_i}):

$$C_{s_i} = \frac{S_i \times h_i}{n_i}$$

- onde, S_i = superfície necessária ao estacionamento do veículo
 h_i = duração do estacionamento em horas
 n_i = taxa de ocupação do veículo
 i = modo de transporte (a pé, bicicleta, automóvel, ônibus, metrô)

- Consumo de espaço de circulação, por pessoa para o modo de transporte (C_{d_i}):

$$C_{d_i} = \frac{1.000 \times l_i \times k}{Q_i(v) \times n_i}$$

- onde, l_i = largura da via de circulação
 k = tamanho do deslocamento (Km)
 $Q_i(v)$ = fluxo de veículo por hora

Baseado nestes conceitos os autores elaboraram a tabela IV.1 que compara diversos modos e motivos de deslocamento em relação ao "espaço-tempo" utilizado. Considerou-se os motivos de trabalho, lazer e compras e a duração de estacionamento para cada um respectivamente: 9 hrs, 3 hrs e 1.5 hrs. Por exemplo, o ônibus necessita de uma faixa de 3.5m de largura, ocupa $30 m^2$ para estacionar e transporta 50 passageiros, para um fluxo de 60 ônibus por hora necessitaremos de $6 m^2 \times h$ para a circulação por passageiro e como este modo de transporte não necessita de estacionamento este espaço-tempo será nulo; já uma bicicleta ocupa $1.5 m^2$ para estacionar, considerando-se que ela tenha sido utilizada para lazer será ocupado $4.5 m^2 \times h$ para o estacionamento e $7.5 m^2 \times h$ para a circulação.

Diferentes modos de transporte, além de necessitarem de mais ou menos superfície no solo, levam a formas de urbanização distintas. O desenvolvimento vinculado ao transporte público favorece a urbanização concentrada, com alta densidade de ocupação do solo e habitações coletivas, é o fenômeno da expansão vertical, enquanto que o transporte privado propicia a urbanização difusa (Merlin, 1984).

	ESTACIONAMENTO <i>m² x hora</i>	CIRCULAÇÃO <i>m² x hora</i>	TOTAL <i>m² x hora</i>
PEDESTRES	0	2	2
BICICLETA (1.0 pass)			
TRABALHO	13,5	7,5	21
LAZER	4,5	7,5	12
COMPRAS	2,5	7,5	10
AUTOMÓVEL (1.25 pass)			
TRABALHO	72	18	90
LAZER	24	18	42
COMPRAS	12	18	30
ÔNIBUS (50 pass.)			
FAIXA MISTA	0	3	3
FAIXA SEGREGADA			
60 veic/h/sentido	0	6	6
30 veic/h/sentido	0	12	12
METRÔ (30.000 pass/h/sentido)	0	1	1

TABELA IV. 1: CONSUMO DE ESPAÇO-TEMPO PARA DESLOCAMENTOS DE 5 KM
SOBRE UMA UTILIZAÇÃO MÁXIMAS DAS CAPACIDADES DAS VIAS
FONTE: MARCHAND E VIEVIER (1987), LES SERVICES PUBLIC DES TRANSPORTS
COLLETIFS URBAINS

3.4 Congestionamentos

O congestionamento pode ser definido como uma excessiva utilização de um espaço "raro", a via (Marchand e Vivier, 1987). Deste modo o congestionamento é proporcional ao consumo do "espaço-tempo" que se relaciona ao tamanho e ao modo do deslocamento (Tabela IV.1).

De acordo com o modo de deslocamento teremos um menor consumo de espaço-tempo e ao alterarmos a configuração estamos interferindo nos tamanhos dos deslocamentos, que impactarão os congestionamentos.

V. MEIO AMBIENTE

1. POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA

A poluição atmosférica é o aumento excessivo de substâncias que alteram as características físicas e químicas do ar, provocando contaminações. Os elementos poluentes sempre estiveram presentes; o problema surge, no entanto, quando este aumento provoca prejuízos podendo, inclusive, inviabilizar a vida. Sua acumulação é diretamente proporcional à emissão, pois os ecossistemas possuem uma capacidade limitada de autodepuração.

A principal fonte geradora de poluição atmosférica varia de acordo com a atividade desenvolvida, sendo as principais fontes: a produção industrial, os transportes, a extração mineral e a produção agrícola. Nas regiões urbanas, onde ocorrem os maiores problemas de poluição, ela é, sobretudo, devida ao crescente e pesado tráfego automotivo, nas cidades já congestionadas. Outro agravante, nas grandes cidades, são os edifícios que dificultam a dispersão dos poluentes (Varma et alli, 1992).

O Gráfico V.1 mostra a participação de cada fonte na composição do ar da cidade de São Paulo.

As emissões devidas ao tráfego combinam-se com outros efeitos e sistemas ocasionando ações em âmbitos maiores no ecossistema. Para que ocorra o deslocamento de um nível a outro necessita-se de um certo espaço de tempo (Himanen et alli, 1992). No Gráfico V.2 vemos como agem os poluentes no decorrer do tempo. Como exemplo, podemos citar o dióxido de carbono que é um produto do sistema de transporte e chega a atingir a camada de ozônio.

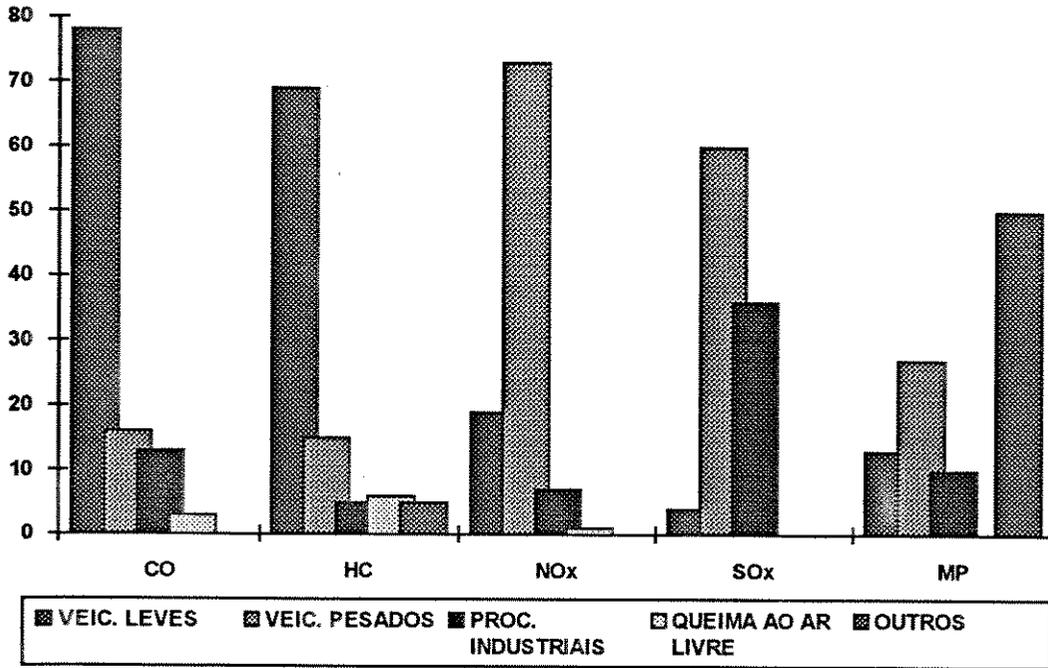


GRÁFICO V.1: EMISSÕES RELATIVAS DE POLUENTES NA CIDADE DE SÃO PAULO
 FONTE: CETESB (1992), RELATÓRIO DA QUALIDADE DO AR NA CIDADE DE SÃO PAULO - 1991

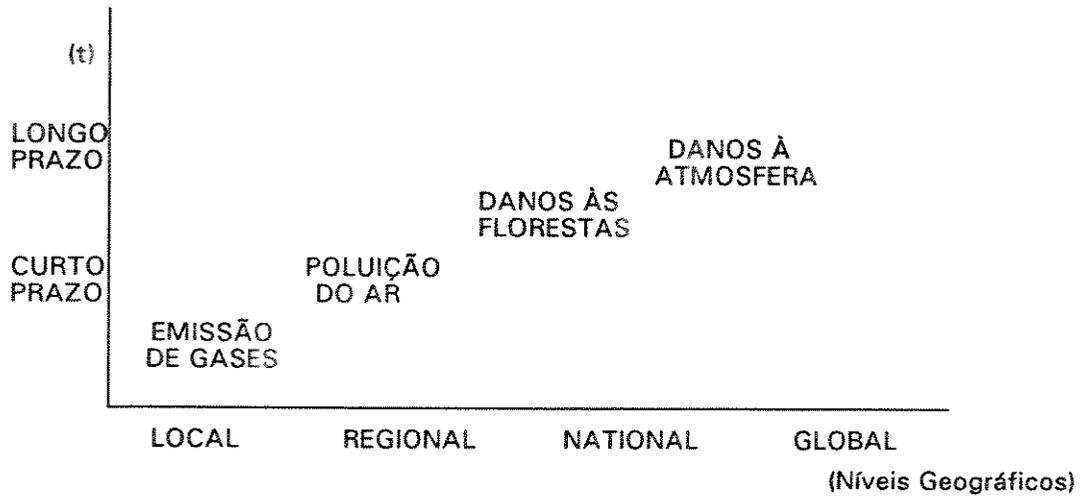


GRÁFICO V.2: TEMPO E EFEITO DOS POLUENTES
 FONTE: HIMANEN ET ALLI(1992), ENVIRONMENTAL QUALITY AND TRANSPORT POLICY IN EUROPE

1.1 Identificação e Medição

A identificação e mensuração da relação entre as fontes de poluição atmosférica e suas consequências não é uma tarefa fácil. O efeito da poluição depende, entre outros fatores, da estrutura demográfica, das condições da população, das propriedades químicas e toxicológicas dos poluentes, do estágio de agregação e concentração na atmosfera e do tempo de exposição (Malczewski, 1991).

A qualidade do ar não é somente função da quantidade de poluentes emitida, mas também das condições climáticas e geográficas que facilitam ou dificultam sua dispersão, agindo diretamente na concentração destes na atmosfera. A difusão das partículas na atmosfera depende de variáveis como velocidade do vento, composição atmosférica, velocidade e volume do tráfego. Como exemplo, temos as inversões térmicas que concentram uma grande quantidade de poluentes durante o inverno na cidade de São Paulo, e a precipitação de chuvas e ocorrência de ventos que facilitam a dispersão.

1.2 Poluentes

Os poluentes presentes na atmosfera associados aos sistemas de transportes são de dois tipos. Os primários, emitidos diretamente ao ar que são: óxido sulfúrico (SO_x), óxido de nitrogênio (NO_x), monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos (HC), material particulado (MP), fumaça e pó. Os secundários, derivados de reações químicas constituem-se de: dióxido de nitrogênio (NO_2), oxidantes fotoquímicos (como o ozônio) e compostos ácidos (Varma et alli, 1992).

A maioria dos poluentes são gases inodoros e incolores resultantes da combustão incompleta.

O hidrocarboneto, que se apresenta sob diversas formas, pode ou não ser inodoro e é proveniente de combustíveis não queimados e de alguns óleos lubrificantes. O gás carbônico resulta da queima parcial do combustível na câmara de compressão. O ozônio é formado pelas reações fotoquímicas na atmosfera e possui um forte odor.

Dentre os óxidos de nitrogênio, encontramos principalmente o monóxido e o dióxido de nitrogênio, que possuem um tom avermelhado e odor picante, que são formados na reação do nitrogênio com o oxigênio do ar.

Os óxidos sulfúricos, resultantes da queima de combustíveis com enxofre, compõem-se principalmente de dióxido e trióxido de enxofre. São gases altamente tóxicos e de odor irritante. O enxofre que compõe o combustível participa das reações de oxidação na combustão.

O material particulado é composto de partículas microscópicas de carbono, hidrocarbonetos não queimados, sulfatos, metais e água. É resultado da queima incompleta de combustíveis, de seus aditivos e do desgaste de pneus e freios.

Além destes compostos resultam da combustão incompleta os aldeídos que são restos de combustíveis parcialmente oxidados. O chumbo, adicionado à gasolina, é um metal pesado utilizado como substância antidetonante. Vem sendo substituído pela álcool que possui a mesma propriedade (Mercedez-Benz, 1989).

1.3 Emissão e Fontes

As emissões de poluentes no setor de transporte dependem de vários fatores, tanto técnicos como operacionais.

Os aspectos técnicos incluem as condições mecânicas dos veículos, o modelo e ano de fabricação, tecnologia de alimentação do motor, tipo e composição do combustível utilizado. Os fatores operacionais englobam as características do sistema de tráfego, o modo de operação, a velocidade, a densidade e o fluxo de tráfego e o traçado da via.

1.3.1 Influência dos fatores técnicos

A poluição dos veículos movidos a gasolina e a álcool provém da evaporação de combustível, da ventilação do cárter e, principalmente, da combustão incompleta e de impurezas presentes nos combustíveis e carburantes, emitidos pelo cano de escapamento. Nos veículos a diesel a poluição concentra-se, predominantemente, no escapamento.

As emissões do cárter são devidas ao processo de ventilação. Constituem-se, basicamente, da mistura ar-combustível não carburada e são responsáveis por cerca de 20% das emissões de hidrocarbonetos.

A evaporação do combustível ocorre no carburador e no tanque, e respondem por aproximadamente 15% do total de hidrocarbonetos. Varia de acordo com a temperatura

e com a relação ar/combustível no carburador, que altera a quantidade de poluentes emitida. Quando esta relação for alta há uma maior emissão de óxidos de nitrogênio e quando baixa, de monóxido de carbono e hidrocarbonetos.

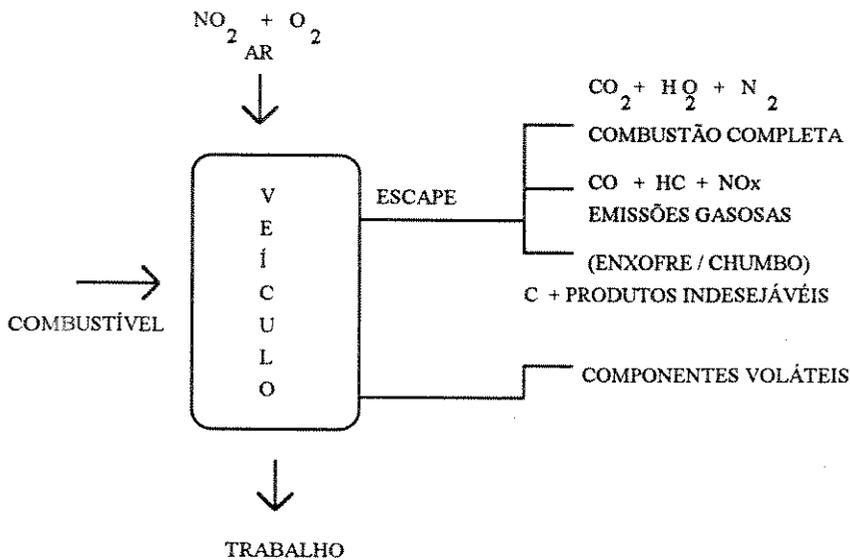


FIGURA V.1: ORIGEM DA EMISSÃO DE POLUENTES PELOS MOTORES
 FONTE: MERCEDES-BENZ (1989), OS VEÍCULOS COMERCIAIS E O MEIO AMBIENTE

Nos veículos a diesel as perdas de combustíveis devidas à evaporação são baixas, pois além do diesel ser menos volátil, os motores apresentam um sistema fechado de injeção eletrônica

A maior parte dos poluentes é emitida à atmosfera através do cano de escapamento e são resultantes da combustão incompleta. A combustão completa produz gás carbônico, vapor de água e nitrogênio. A incompleta, entre outros produtos, monóxido de carbono, hidrocarbonetos, óxidos de nitrogênio e carbono (fumaça).

A quantidade de poluentes, resultante da combustão incompleta, varia de acordo com o combustível e sua composição. A gasolina é o combustível mais poluente. Emite uma maior quantidade de CO e HC, e altos níveis de NO. O álcool é bem menos poluente, liberando uma quantidade bem menor de CO. Entretanto produz quatro vezes mais aldeídos e a mesma quantidade de hidrocarbonetos. Tem a grande vantagem de ser antioxidante, dispensando o uso de chumbo (CETESB, 1984). A tabela V.1 fornece

uma comparação média entre veículos a gasolina, de acordo com a idade da frota, e o álcool.

POLUENTE	CO	HC	NOx	MP
VEÍCULO				
GAS - ANT 1980	54	4.7	1.2	0.05
GAS - NOVOS	37	3.3	1.4	0.05
ÁLCOOL	18.5	0.9	1.2	0.18

TABELA V.1: EMISSÃO DE VEÍCULOS LEVES BRASILEIROS EM G/KM
 FONTE: CETESB (1984), A PARTICIPAÇÃO DOS VEÍCULOS AUTOMOTORES
 NA POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA

A emissão de poluentes atmosféricos varia de acordo com a composição do combustível. Ao adicionar-se etanol à gasolina, as emissões dos poluentes diminuem, exceto os óxidos de nitrogênio; e quanto maior a concentração menor o efeito poluidor. Já o álcool com um percentual de gasolina, medida adotada devido à crise de abastecimento, torna-se mais poluente.

As tabelas V.2 e V.3 fornecem a emissão de acordo com a composição de cada combustível. O valor 100 serve como uma base de referência (CETESB, 1992).

POLUENTE	PORCENTAGEM DE ETANOL			
	22 %	18 %	12 %	0 %
CO	100	120	150	200-450
HC	100	105	110	140
NOx	100	95	80	60

TABELA V.2 : VARIAÇÃO RELATIVA NA EMISSÃO DE POLUENTES PELO ESCAPAMENTO
 EM FUNÇÃO DO TEOR DE ÁLCOOL ANIDRO NA GASOLINA
 FONTE: CETESB (1992), RELATÓRIO DE QUALIDADE DO AR NO ESTADO DE SÃO PAULO

POLUENTE	COMBUSTÍVEL		
	ÁLCOOL	5 % GASOLINA	33% METANOL + 7 % GASOLINA
CO	100	125	100
HC	100	110	90
NO _x	100	100	110
ALDEÍDOS	100	100	55
ALCÓOIS	100	100	80

TABELA V.3: VARIAÇÃO RELATIVA NA EMISSÃO DE POLUENTES PELO ESCAPAMENTO EM FUNÇÃO DA ADIÇÃO DE OUTROS COMBUSTÍVEIS AO ÁLCOOL
 FONTE: CETESB (1992), RELATÓRIO DA QUALIDADE DO AR NO ESTADO DE SÃO PAULO

Os motores a diesel são os menos poluentes, apesar de serem importantes fontes de óxidos de nitrogênio, óxidos de enxofre e de material particulado. A emissão de material particulado (MP) têm três fatores agravantes: as partículas de tamanho muito pequeno permanecem muito tempo em suspensão no ar, são de natureza muito agressiva e a emissão é feita diretamente na região respirável não ocorrendo dispersão antes de atingir a população (CETESB, 1984).

Apesar dos veículos a diesel serem grande fonte de óxidos de nitrogênio, ocorre uma diminuição na emissão deste poluente com um aumento da velocidade, ao contrário dos veículos a gasolina (Joumard, 1991). A tabela V.4 fornece uma comparação entre diesel, gasolina e álcool, tendo por referência veículos da cidade de São Paulo.

POLUENT.	CO	HC	NO _x	SO _x	MP
COMBUST.	(g/km)	(g/km)	(g/km)	(g/km)	(g/km)
GASOLINA	40.5	3.77	1.40	0.16	0.21
ÁLCOOL	18.8	1.56	1.09	---	---
DIESEL	17.8	2.90	13.00	5.95	0.81

TABELA V. 4: FATORES DE EMISSÃO DE VEÍCULOS A GASOLINA, ÁLCOOL E DIESEL
 FONTE: MURGEL ET ALII (1987), INVENTÁRIO DE EMISSÃO VEICULAR -
 METODOLOGIA DE CÁLCULO

Há algumas décadas iniciou-se a utilização do gás natural como combustível. É encontrado em rochas e pode estar associado a óleos.

O gás natural seco além de seu principal componente, o metano, contém etano, propano, butano e hidrocarbonetos. Para ser usado como combustível deve ser processado, removendo-se a maior parte do propano e do butano.

Os motores a gás apresentam a grande vantagem de não emitirem material particulado, fumaça e enxofre. Entretanto estudos realizados na Mercedes-Benz do Brasil mostram uma maior emissão de hidrocarbonetos, monóxidos de carbono e óxidos de nitrogênio, em relação ao diesel (Mercedes-Benz, 1989).

A emissão dos hidrocarbonetos, apesar de serem maiores, apresenta a vantagem de ser formada basicamente de metano que é menos tóxico e dissipa-se rapidamente, não havendo concentrações do poluente ao nível do solo.

O maior problema devido a este combustível refere-se aos óxidos de nitrogênio que são em torno de 15 % mais elevada (CMTC).

Pode-se considerar que os veículos elétricos não contribuem para a poluição ambiental. A única consequência pode ser atribuída a um aumento no fluxo de veículos particulares ou ônibus destinando-se aos terminais de integração com metrô ou VLT.

1.3.2 Influência das condições operacionais

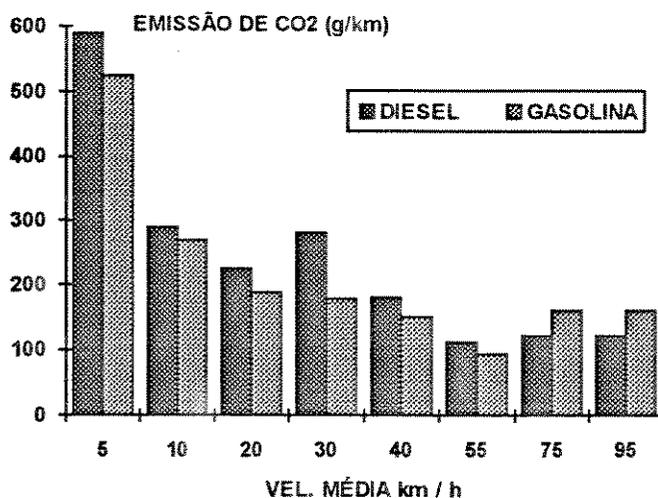
Estudos realizados por Murgel e Szwarc (1989) mostram a relação entre emissão de poluentes e velocidade média do tráfego, para veículos a gasolina e álcool. Observou-se, em condições de congestionamento, um acréscimo de 25% nas emissões de monóxido de carbono, 20% de hidrocarbonetos e uma redução de 15% nas emissões de óxidos de nitrogênio.

A tabela V.5 mostra o resultado de estudos realizados com oito veículos e a emissão de poluentes em condições normais, velocidade média de 31,5 km/h e congestionada, 19km/h

VEIC.	CONDIÇÕES NORMAIS			CONGESTIONAMENTOS		
	CO	HC	NO _x	CO	HC	NO _x
GASOLINA	40.5	3.8	1.4	50.6	4.6	1.2
ÁLCOOL	18.8	1.6	1.1	23.5	1.9	0.9

TABELA V.5: EMISSÃO DE POLUENTES DE ACORDO COM A VELOCIDADE MÉDIA DE PERCURSO EM g/km
 FONTE: MURTEL E SZWARC (1989), CONDIÇÕES DE TRÁFEGO E A EMISSÃO DE POLUENTES.

Outro estudo realizado por Jourmard (1991) efetua uma comparação entre veículos a diesel e a gasolina. Verificou-se uma redução nas emissões de monóxido e dióxido de carbono e de hidrocarbonetos com o aumento da velocidade média até 50 km/h e crescentes a partir de então. Somente o monóxido de carbono cresce juntamente com a velocidade. Os resultados estão apresentados no gráfico V.3.



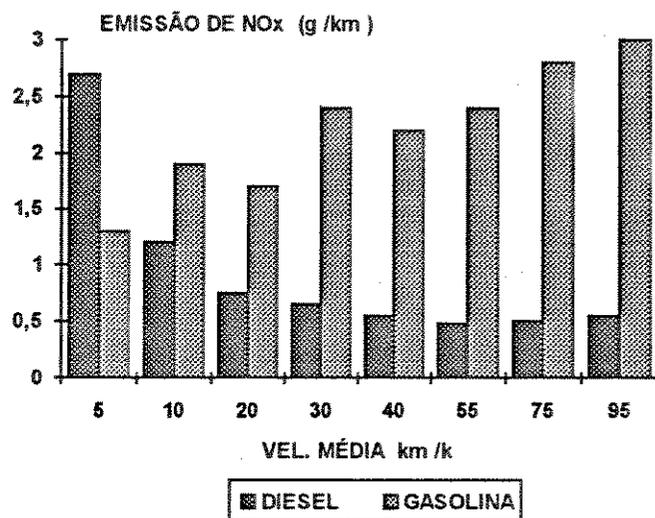
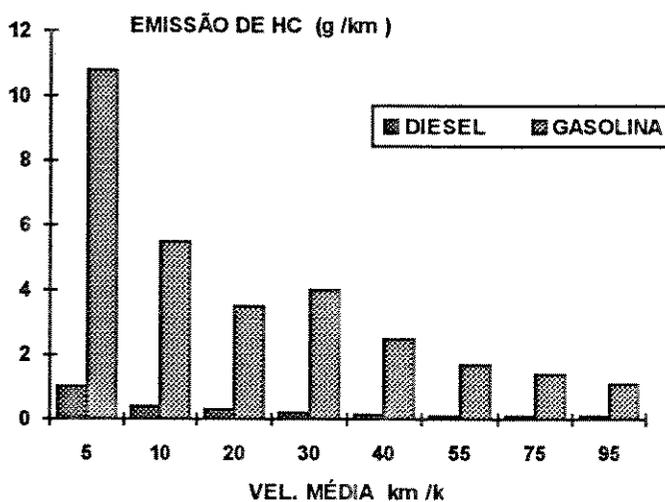
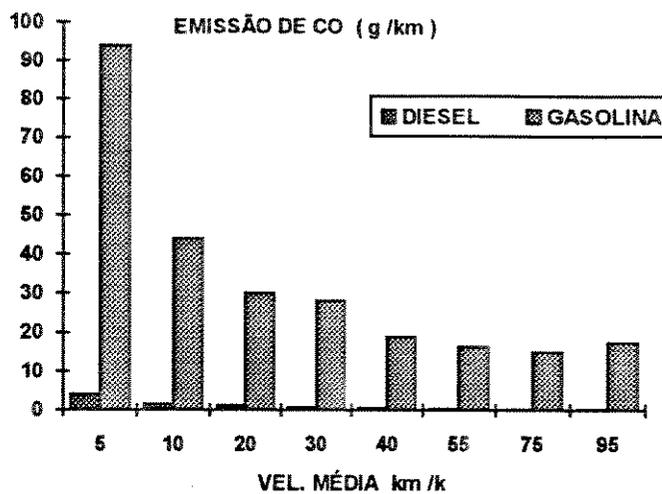


GRÁFICO V.3: COMPARAÇÃO DA EMISSÃO DE POLUENTES ENTRE VEÍCULOS DIESEL E GASOLINA
 FONTE: JOURMARD (1991), CARACTÉRISATION DES ÉMISSIONS UNITAIRES DES VÉHICULES LÉGERS.

1.4 Impactos da Poluição Atmosférica

A classificação utilizada segue as normas da Cetesb que considera o efeito da poluição sob três tópicos principais: sobre construções e materiais; sobre o solo, vegetação, culturas e vida animal; sobre a saúde humana.

1.4.1 Saúde humana

A poluição afeta o homem direta e indiretamente. A longo prazo efeitos secundários levam à deterioração do solo, das águas, do ar, da qualidade dos alimentos, fundamentais à vida.

O efeito da poluição no homem atinge sobretudo as vias respiratórias e a circulação sanguínea. A população mais atingida é a hipersensível constituída por crianças, idosos e pessoas com problemas circulatórios ou respiratórios (Malczewski, 1991).

Abaixo relacionam-se os principais poluentes e suas consequências à saúde humana. As informações baseiam-se, sobretudo, nas seguintes referências (Cetesb, 1984 e 1985; Varma et alli, 1992; Malckewski, 1991; COPPE/DENATRAN, 1980; Merces-Benz, 1989).

Monóxido de Carbono (CO)

O monóxido de carbono têm uma grande afinidade com a hemoglobina. A combinação das duas forma a carboxihemoglobina, que apesar de ser inócua ao organismo impede a hemoglobina de reagir com o oxigênio causando uma diminuição na capacidade de oxigenação dos tecidos.

Além disto pode também causar anemia, problemas cardiovasculares e pulmonares crônicos, afeta o desenvolvimento fetal, altera as funções mentais e reduz a tolerância a exercícios.

Óxido de Nitrogênio (NO)

O óxido de nitrogênio liberado no processo de combustão se oxida com o ar atmosférico formando o dióxido de nitrogênio.

Os óxidos de nitrogênio aumentam a suscetibilidade do organismo à contaminação por bactérias e vírus, são causadores de irritação nasal e oftálmica. Agravam problemas respiratórios, ocasionam problemas cardio-vasculares e nefrites agudas.

Também reagem com a luz solar, ocasionando a chuva ácida, e com os hidrocarbonetos contribuindo na formação do "smog" fotoquímico que aumenta o risco de acidentes.

Hidrocarbonetos (HC)

Têm como consequência mais significativa serem elementos formadores do "smog" mas, também, ocasionam danos à saúde. São causadores de irritação nos olhos e agravante de problemas respiratórios. Quando inalados juntamente com CO podem ter um efeito narcótico induzindo dores de cabeça e sonolência. Alguns grupos de hidrocarbonetos são considerados mutagênicos e estão associados ao desenvolvimento de câncer.

Óxidos Sulfuricos (SO_x)

São absorvidos pelo sistema respiratório ocasionando nele diversos tipos de irritação. Provocam doenças respiratórias, alergias e reduzem a atividade pulmonar. Têm efeito significativo na mortalidade.

Material Particulado (MP)

O efeito do material particulado está associado ao tamanho da partícula, quanto menor mais nociva, devido a sua maior capacidade de penetração no organismo, causando lesões e depósitos de substâncias nocivas ao homem. Afetam a luminosidade e a visibilidade.

Apesar de menos nocivos, a combustão incompleta gera, ainda, os aldeídos e a fumaça branca que irritam os olhos e as vias respiratórias, o chumbo que provoca um envenenamento lento causando a degeneração do sistema nervoso central e doenças nos ossos, sobretudo em crianças, e o ozônio que irrita as mucosas, reduz a capacidade pulmonar e detém os raios ultravioletas.

1.4.2 Construções e materiais

A corrosão ocasionada pelos poluentes é o principal dano causado às construções e aos materiais devido a combinação de poluentes químicos com ventos, chuva, poeira e fuligem. O SO₂ e o CO₂ agindo junto com a chuva e a radiação solar atacam a superfície dos edifícios.

O SO_2 converte-se em ácido sulfúrico que reage com os carbonatos de cálcio e magnésio originando os sulfatos que provocam o desgaste. É também um catalisador no processo de formação de óxido de ferro III hidratado ou ferrugem que atua na corrosão de superfícies de ferro. Além disto, o SO_2 forma ácido sulfuroso quando dissolvido nas gotas de chuva que pode descolorar ou reduzir os corantes químicos, ação acelerada pelo ozônio e ácido sulfúrico.

O CO_2 se dissocia na chuva formando o ácido carbono aumentando a erosão das pedras.

1.4.3 Solo, vegetação, cultura e vida animal

Os principais poluentes atmosféricos responsáveis pelos danos às plantas são o dióxido de enxofre, o fluoreto, a fumaça, a fuligem, a poeira e os componentes fotoquímicos do "smog".

O material particulado deposita-se nas folhas restringindo a fotossíntese e a perda de vapor d'água. Estes fatos podem dificultar ou impedir o crescimento e a reprodução. Além disto, os óxidos de enxofre, óxidos de nitrogênio e ozônio são compostos mutagênicos.

Os danos aos animais são causados sobretudo pelo fluoreto e pelas poeiras metálicas. Nos animais os poluentes penetram pelas vias respiratórias ou pela ingestão de plantas contaminadas. Os poluentes que penetram pelas vias respiratórias afetam o trato respiratório e a pressão sanguínea. Os danos podem ser fisiológicos, causando problemas à saúde do animal, ou mais abrangentes interferindo nos instintos e no comportamento.

O solo é afetado por poluentes gasosos e pela deposição de partículas, interferindo no crescimento das plantas. As precipitações de chuva contendo SO_2 alteram o pH do solo tornando-o ácido.

O óxido nítrico reage com a luz originando a chuva ácida que afeta as florestas, os ecossistemas aquáticos, diminui o pH da água e ocasiona a acidificação do solo, diminuindo a produtividade agrícola e o desenvolvimento dos vegetais e animais.

1.5 Qualidade do Ar

A análise e o índice de qualidade do ar são medidos em São Paulo pela CETESB e no Rio de Janeiro pela FEEMA. Calcula-se um índice para cada poluente e a qualidade do ar é determinada pelo pior caso. A tabela V.6 indica os padrões adotados, pela CETESB, com as respectivas concentrações dos principais poluentes.

ÍNDICE	QUALIFICAÇÃO	SO ₂	CO	NO ₂	O ₃	MP
		24 hrs	8 hrs	1 hr	1hr	24 hrs
0 - 50	BOA	80	4.5	100	80	130
50 - 100	REGULAR	365	9.0	320	160	390
100 - 200	INADEQUADA	800	15.0	1130	200	625
200 - 300	MÁ	1600	30.0	2260	800	1045
300 - 400	PÉSSIMA	2100	875	3000	1000	1375
400 - 500	CRÍTICA	2620	10000	3750	1200	1600

TABELA V.6 : ESTRUTURA DO ÍNDICE DE QUALIDADE DO AR
 FONTE: CETESB (1991), RELATÓRIO DA QUALIDADE DO AR NO ESTADO DE SÃO PAULO - 1991

* As partículas de CO foram medidas em ppm (partes por milhão de volume), o restante em $\mu\text{g} / \text{m}^3$

2. POLUIÇÃO SONORA

O ser humano tem sua orientação baseada, entre outros fatores, nos cinco sentidos. Sendo a audição um deles, o som é, para o homem, de fundamental importância. Entretanto a evolução urbana trouxe a poluição sonora e os ruídos: sons indesejáveis e inarmônicos.

O barulho, no meio urbano, origina-se nas fábricas, nas obras viárias, na construção civil, nas atividades diárias das pessoas e sobretudo no tráfego.

Uma pesquisa realizada na França em 1986, sobre os fatores que incomodavam a população em seus domicílios, obteve como o maior problema o barulho, responsável por 61 % das queixas, e dentre as fontes que o geram o tráfego foi apontado como o mais relevante, seguido pelo barulho dos vizinhos, aviões e tráfego ferroviário (Maurin, 1991).

2.1 Características

O som caracteriza-se pela altura e intensidade. A altura é determinada pela frequência que quanto maior é, mais agudo, é o som. A intensidade refere-se à pressão exercida no ouvido humano: quanto maior a pressão mais intenso é o som.

Para efeito de medição do som utiliza-se como unidade o decibel (dB), que está relacionado com o nível de pressão do som (NPS). O dB tem uma distribuição logarítmica, um aumento de 1 dB é perceptível, enquanto que 10 dB causam a sensação de duplicação do nível de som.

O nível de pressão do som decresce com a distância, ao duplicarmos a distância do observador à fonte, há um decréscimo de 6 dB para fontes pontuais e de 3 dB para lineares, caso do tráfego urbano. Outra característica do som é que ao somarmos duas fontes com o mesmo nível de ruído há um aumento total do nível do som de apenas 3 dB.

O ser humano responde de maneira diferente às várias frequências do som. Duas fontes que apresentem o mesmo nível de pressão do som, porém de frequências diferentes não causarão a mesma sensação. A fonte, cuja frequência é maior, parecerá ter um nível de

ruído superior. Para melhor expressar este fenômeno e facilitar a medição de ruídos efetuou-se um ajuste à escala de dB; definiu-se o dBA que é uma unidade que considera esta variação de frequência onde sons mais graves são menos perturbadores.

No meio urbano o som situa-se, mais frequentemente, na faixa compreendida entre 30 e 100 dBA.

A tabela V.7 apresenta várias fontes sonoras e a intensidade de som correspondente.

FONTE	NÍVEL DE RUÍDO
NOITE CALMA NO CAMPO	25
RELÓGIO / SUSSURO / CHUVISCO	30
QUARTO CALMO	35
RUÍDO TRABALHO DOMÉSTICO / RUA CALMA	40
CONVERSA	50
TRABALHO URBANO DIURNO	55
RUÍDO DE ESCRITÓRIO	60
RUA COM POUCO TRÁFEGO	65
CONVERSA RUIDOSA / RUA MOVIMENTADA	70
TELEFONE	75
RUÍDO DE TRÁFEGO PESADO	80
VEÍCULO PESADO	85
INTERIOR DE CABINE DE METRÔ	90
BRITADEIRA	95
BUZINA A 7 m	100
JATO A 250 m DE ALTITUDE	110
CALDEIRA	120

TABELA V.7: INTENSIDADE DE RUÍDO PARA FONTES DISTINTAS, EM dBA

2.2 Medição

Na medição do som e sua correlação com o distúrbio provocado deve-se considerar (COPPE/DENATRAN, 1980).

- O nível de ruído varia constantemente.
- A intensidade e o espectro da frequência variam para cada modo de transporte.
- O incômodo provocado pelo ruído depende da distância que separa o observador da fonte e é função do nível de ruído ambiental.
- Quanto maior a altura do som, maior o incômodo causado.
- Os ruídos intermitentes são mais perturbadores que os contínuos, com mesma altura e intensidade.
- A análise do ruído de fundo é importante, pois quanto menor a diferença entre este e o analisado, menor será o distúrbio. Além disto, a intensidade também varia de acordo com as barreiras existentes, como muros, paredes, e janelas.

Com a finalidade de melhor expressar o ruído e a correlação deste com o distúrbio provocado, vários índices foram desenvolvidos baseados em manipulações do dBA, sendo os mais utilizados o L_{10} e o L_{eq} (nível equivalente de som).

O índice L_{10} corresponde ao nível de ruído ultrapassado em 10% do tempo de medição. O nível equivalente de som (L_{eq}) está relacionado ao nível de pressão do som, sendo definido como a média de energia de uma amostra de ruído.

Estes índices são objetos de algumas críticas: como são baseados em dBA não consideram a distribuição da frequência e o nível L_{10} , correspondente a 10% do tempo de medição ou período considerado, só podem ser aplicado a fontes de ruído contínuo, não podendo ser aplicada a trens e aviões (COPPE/DENATRAN, 1980)

Eberhardt (1988) observou um outro problema através de uma pesquisa experimental. Ele notou que a passagem de um carro com nível de ruído de 55 dBA pode ocasionar distúrbios ao sono, enquanto que o respectivo valor de L_{eq} não o apontava. Esta pesquisa está de acordo com Rylander e Bjorkman (1988) que concluíram que o conceito de energia equivalente não satisfaz as condições de avaliação dos efeitos biológicos e com Bjorkman (1991) que mostrou como o número de eventos, causadores de ruído durante um determinado período de tempo, está diretamente associado ao distúrbio provocado.

De acordo com Bjorkman, um aumento no número de ocorrências ocasiona um maior incômodo até determinado valor, a partir do qual não há mais correlação entre os eventos. O gráfico V.4 mostra a relação entre nível de ruído, frequência do evento e o distúrbio correspondente. O autor salienta que devem-se analisar os níveis individuais

de ruído e quantificá-los em termos de máximo nível de ruído (MNL), para ser utilizado juntamente com L_{eq} .

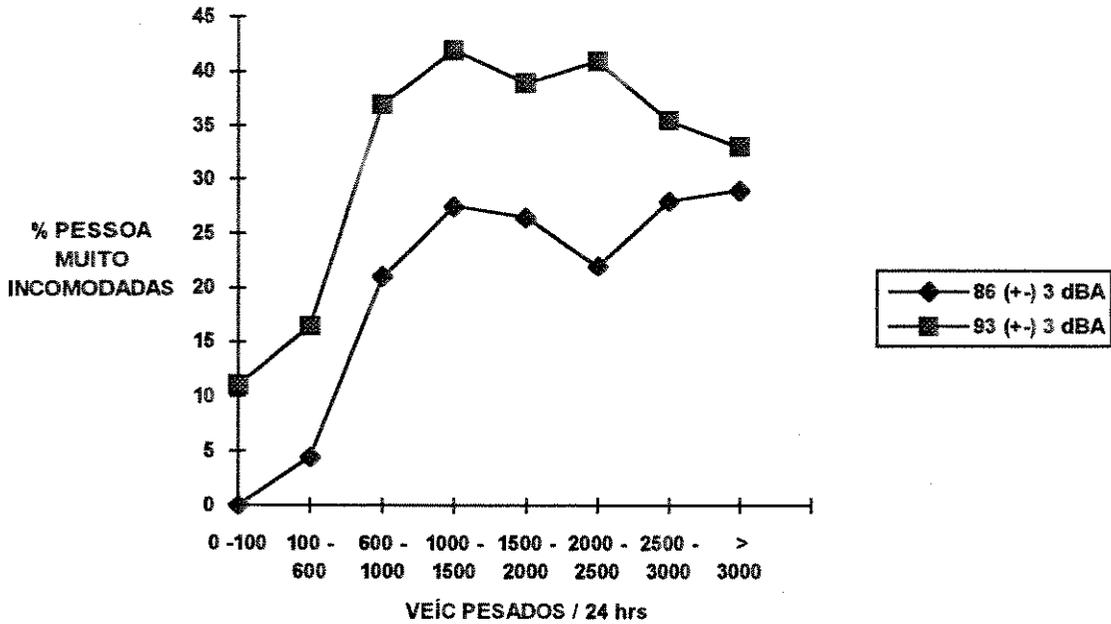


GRÁFICO V.4: NÚMERO DE EVENTOS X PESSOAS INCOMODADAS
 FONTE: BJORKMAN (1991), COMMUNITY NOISE ANNOYANCE: IMPORTANCE OF NOISE LEVELS AND THE NUMBER OF EVENTS

2.3 Propagação

Como a propagação do som depende do meio, os níveis de sons emitidos e recebidos nem sempre são os mesmos.

Em relação ao ruído do tráfego vários fatores interferem nesta propagação. Podemos citar a distância do observador à fonte, a natureza do solo, o clima e o recorte da via. Destes fatores os mais importantes são a distância e o recorte da via.

As vias podem ser de três tipos: em nível, elevadas ou em depressão. As primeiras não ocasionam nenhuma modificação no nível de ruído recebido; as vias elevadas criam uma zona de sombra reduzindo o ruído nas edificações próximas ao solo, mas não alteram a recepção em pontos mais elevados; já as vias em depressão causam uma redução pois o corte funciona como uma barreira ao som. A redução devida a estes

artifícios dependem da elevação e da altura do corte. A tabela V.8 mostra a atenuação devida a barreiras para uma via de duas pistas a uma distância de 25m do centro da pista em duas altitudes diferentes, 3 e 8 metros.

TIPO DE BARREIRA	REDUÇÃO DO NÍVEL DE RUÍDO (dBA)	
	3m	8m
BARREIRA VERTICAL - 3m DE ALTURA		
1 LADO DA VIA -	9	0
BARREIRA VERTICAL - 3m DE ALTURA		AUMENTA O NÍVEL
2 LADOS DA VIA - COM REFLEXÃO DO SOM	6	DE RUÍDO EM 2 dBA
BARREIRA VERTICAL - 5m DE ALTURA		
1 LADO DA VIA	15	10
DUNA DE TERRA - BASE 16m		
1 LADO DA VIA	13	0
VIA EM CORTE - 4m DE PROFUNDIDADE		
COM TALUDE DE 3m	10	0
VIA EM CORTE - 5m DE PROFUNDIDADE		
MUROS DE ARRIMO COM REFLEXÃO DO SOM	4	0
VIA EM CORTE - 5m DE PROFUNDIDADE		
BARREIRAS DE 2m DE ALTURA À 2m DO		
MURO DE ARRIMO	12	7

TABELA V.8: REDUÇÃO DO NÍVEL DE RUÍDO ATRAVÉS DA UTILIZAÇÃO DE BARREIRAS
 FONTE: COPPE/DENATRAN (1980), TRÁFEGO E MEIO AMBIENTE

Outro fator atenuante da intensidade do som são os anteparos. Barreiras construídas, montes ou prédios podem reduzir o barulho em até 20 dBA, dependendo da altura, comprimento e densidade. Anteparos de vegetação têm pouco efeito de isolamento, são mais úteis para o efeito visual (Lassière, 1976).

2.4 Ruído do Tráfego

O ruído proveniente do tráfego depende de vários fatores, sendo os principais: o veículo, o volume, a composição e a velocidade do tráfego, o gradiente e o tipo de pavimentação da via.

2.4.1 Veículo

O nível de ruído do veículo depende dos fatores mecânicos e operacionais. Os fatores mecânicos mais importantes são a estrutura, o tamanho e o tipo de motor, a caixa de câmbio, a entrada de ar e o escape, o sistema de ventilação e o contato do pneu com o pavimento.

2.4.2 Volume, composição e velocidade do tráfego

Basicamente, quanto maior o volume de tráfego, maior o barulho provocado. O nível de ruído aumenta rapidamente para volumes de tráfego até 1.200 veíc/h, caindo, então o incremento (Lassière, 1976). Esta relação é mostrada no gráfico V.5.

A porcentagem de veículos pesados, caminhões, ônibus e veículos acima de 1,5 ton, interferem no nível de ruído, não só por serem mais barulhentos devido às próprias características do veículo, mas a velocidade do fluxo de tráfego diminui à medida que aumenta a porcentagem destes. E em presença de subida, os veículos pesados ainda ocasionam um aumento médio de ruído de 4 a 5 dBA podendo chegar a 8 dBA (Lassière, 1976).

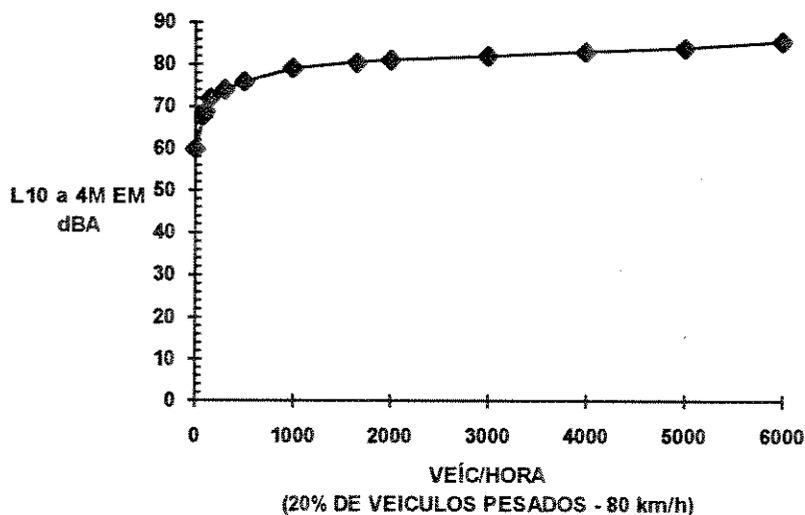


GRÁFICO V.5: VOLUME DE TRÁFEGO X INTENSIDADE DE RUÍDO
 FONTE: LASSIÈRE (1976), THE ENVIRONMENTAL EVALUATION OF TRANSPORTS PLANS

Na emissão total de ruído os efeitos da velocidade e da aceleração são importantes. O aumento da aceleração provoca um acréscimo no nível de ruído. A baixas rotações, o motor é mais silencioso, há um decréscimo do barulho até aproximadamente 35 km/h tornando-se crescente a partir de então. A velocidades inferiores a 60 - 70 km/h o ruído

provém, sobretudo, do motor e da emissão de gases, em velocidades maiores a influência de outros fatores, como o tipo de pneu e o contato com o pavimento, causam uma maior influência.

No meio urbano, de um modo geral, um aumento na velocidade provoca uma redução do ruído pois torna o tráfego mais fluido, com menos paradas e partidas. Em altas velocidades a diferença do nível emitido pelos veículos de passeio e pesados diminui (COPPE/DENATRAN, 1980).

Entretanto, ao analisarmos a relação ruído x velocidade, devemos considerar a composição do tráfego. A baixas velocidades há o predomínio do ruído proveniente do veículo, quando o tráfego é interrompido tem-se o efeito das paradas e partidas, aceleração e frenagem. O gráfico V.6 mostra a relação entre ruído e velocidade do tráfego de acordo com a porcentagem de veículos pesados.

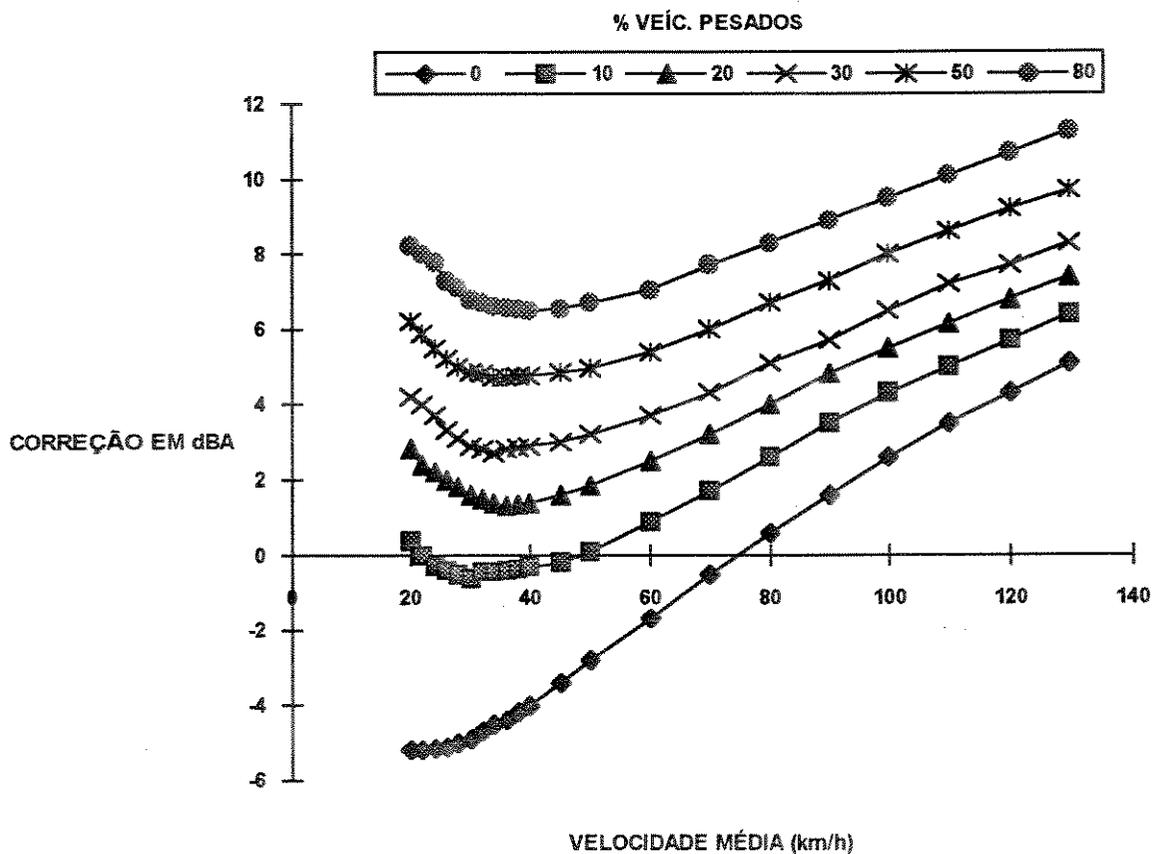


GRÁFICO V.6: RELAÇÃO ENTRE VELOCIDADE, COMPOSIÇÃO DO TRÁFEGO E A CORREÇÃO NECESSÁRIA

FONTE: LASSIÈRE (1976), THE ENVIRONMENTAL EVALUATION OF TRANSPORTS PLANS

2.4.3 Gradiente da via

O efeito de gradiente não é um fenômeno muito simples e é pouco conhecido. Mas pode-se afirmar que um gradiente ascendente acarreta um aumento no ruído da ordem de 4 a 7 dBA, a uma velocidade de 60 km/h (Lassière, 1976).

Em presença de veículos comerciais, o efeito do gradiente torna-se mais importante. Pode-se efetuar o ajuste de acordo com a tabela V.9 (COPPE/DENATRAN, 1980).

GRADIENTE (%)	AJUSTE (dB)
< 2	0
3 - 4	+ 2
5 - 6	+ 3
> 7	+ 5

TABELA V.9: AJUSTE DO NÍVEL DE RUÍDO, DE CAMINHÕES,
DE ACORDO COM O GRADIENTE DA VIA
FONTE: COPPE/DENATRAN (1980), TRÁFEGO E MEIO AMBIENTE

2.4.4 Superfície

Alguns autores (Lassière, 1976; COPPE/DENATRAN, 1980) citam os diferentes tipos de pneus e pavimentos como fatores geradores de ruído, por exemplo, os pavimentos mais rugosos provocam mais barulho. Eles consideram que, no meio urbano, este fenômeno pode ser desprezado devido às baixas velocidades de tráfego.

Já, segundo Hamet (1991), devido ao aprimoramento dos veículos modernos houve uma grande redução das fontes de ruído provenientes de fatores mecânicos e, hoje, a fonte principal deve-se ao contato do pneu com o pavimento. Isto acontece, primeiramente, em função do: pneu utilizado (material e largura), pavimento, textura da superfície, rigidez mecânica, porosidade e coeficiente de absorção.

2.5 Níveis de Ruído Permitidos

O primeiro estudo importante sobre o ruído de tráfego foi realizado na Inglaterra, tendo sido publicado em 1963: o "Wilson Report".

O relatório Wilson propôs níveis de ruído e padrões recomendados para interiores de residências, limitando em 45 dBA e 35 dBA, para os períodos diurnos e noturnos respectivamente, em áreas suburbanas, e ampliando para 50 dBA o limite máximo recomendável, durante o dia, para regiões de grande circulação.

No Brasil a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) elaborou os seguintes índices para áreas interiores :

LOCAL	NÍVEL DE RUÍDO (dBA)
RESIDÊNCIAS	40
ESCOLAS	42
ESCRITÓRIOS	60
FÁBRICAS	74

TABELA V.10: NÍVEIS MÁXIMO DE RUÍDO RECOMENDADO PARA O INTERIOR DE EDIFICAÇÕES

O Conselho Nacional de Trânsito (CONATRAN) estipula os níveis máximos, permitidos de sons e ruídos, produzidos pelos veículos. As emissões máximas permitidas hoje deverão ser reduzidas até 1996. O CONATRAN estipulou novos valores, em fevereiro de 1993, que deverão entrar gradualmente em vigor. Em 1994, 20 % dos automóveis e veículos de uso misto deverão emitir ruídos até o limite máximo de 77 dB; em 1995, 50 % da frota produzida deverá respeitar estes valores; e em 1996 o total. Os veículos a diesel deverão respeitar o mesmo cronograma dos automóveis em 1995 e 1996, respeitando o limite de emissão máxima de ruídos entre 81 e 84 dB.

	ATUAL	1996
VEÍCULOS DE PASSEIO E USO MISTO	84 dBA	77 dBA
VEÍCULOS DE CARGA, ÔNIBUS E OUTROS		
ATÉ 102 CV	89 dBA	81 dBA
ACIMA DE 102 CV	92 dBA	84 dBA
SONS DE BUZINAS E EQUIPAMENTOS		
SIMILARES	104 dBA	-----

TABELA V.11: NÍVEIS DE RUÍDO PERMITIDOS DE ACORDO COM A CATEGORIA DO VEÍCULO

Na Europa vários países estão, gradualmente, efetuando reduções nestes limites. A tabela V.12 relaciona estes valores (Lambert, 1991):

CATEGORIA	1972 (dBA)	1984 (dBA)	1988 (dBA)
VEÍCULOS			
PARTICULARES	82	80	77
ÔNIBUS URBANO	89	82	80
VEÍCULOS PESADOS	91	88	84

TABELA V.12: NÍVEIS DE RUÍDO REGULAMENTADOS PELA CEE
 FONTE: LAMBERT (1991), QUELLE POLITIQUE POUR LUTTER CONTRE
 LE BRUIT ROUTIER EN ZONE URBAINE ?

2.6 Impactos da Poluição Sonora

O problema da poluição sonora tem sido amplamente estudado. Em relação ao ruído proveniente dos transportes, várias pesquisas são realizadas visando diminuir o número de dBA emitido pelos veículos. Através de um estudo do barulho nas fachadas das residências, Lambert (1991) expõe a seguinte situação: 55 dBA corresponde ao conforto acústico; a 65 dBA o barulho já é considerado incômodo e a 68 dBA ocorrem alterações de comportamento. De acordo com Lassièrre (1976), 90dBA causa uma fadiga auditiva e danos à audição e 120 dBA é o limite da dor.

Os impactos produzidos pela poluição sonora ocorrem, principalmente, nos campos econômico e social.

No econômico, o impacto se manifesta através da queda do valor do solo. Imóveis residenciais atingidos podem sofrer uma desvalorização (Lambert, 1991). Entretanto esta relação não é tão simples e direta, pois caso ocorra uma modificação no uso do solo o mesmo imóvel pode ser valorizado devido à possibilidade de uso comercial.

O impacto social manifesta-se, sobretudo, pelo incômodo sentido pela população, ocasionando problemas de saúde, psico-sociais, alterações no comportamento e, principalmente, interferência no sono.

Os incômodos mais explícitos sentidos pela população referem-se à interferência em suas atividades cotidianas, como assistir à televisão, ouvir música, falar ao telefone ou conversar (Öhrström et alli, 1988).

Com a finalidade de estudar o efeito do ruído do tráfego no sono, várias pesquisas foram desenvolvidas (Öhrström et alli, 1988; Öhrström, 1989; Eberhardt, 1988). Através de análises do sono feitas em laboratório, nas residências e por questionários, verificou-se que populações sujeitas ao barulho do tráfego apresentam maior índice de dificuldade em adormecer, sono interrompido e sensação de cansaço pela manhã.

Os efeitos psico-sociais foram estudados por Öhrström (1989, 1991) através de uma pesquisa realizada em Gothemburg, Suécia. Constatou-se que a população sujeita a altos índices de ruído apresentava uma maior incidência de: dores de cabeça e de estômago devido a nervosismo; uma maior sensação de cansaço, ocasionando uma queda de produtividade; alterações no humor, irritabilidade, ansiedade, nervosismo; vontade de ficar só; um maior índice de depressão, assim como, um maior consumo de tranquilizantes e consultas a médicos psiquiátricos.

Foram analisadas duas situações: uma área sujeita a altos níveis de ruído para os períodos diurnos e noturnos, respectivamente, e outra área calma. Os resultados estão descritos no gráfico V.7.

O ruído também exerce influência no desempenho de atividades. Pesquisas mostraram que, em níveis excedendo a 90 dBA, o desempenho de certas atividades era menos eficiente. Entre elas pode-se citar: tarefas de vigilância, monitoração contínua, levantamento de dados, e operações matemáticas. O efeito pode ser a queda na produção ou um grande surgimento de erros (COPPE/DENATRAN, 1980).

A avaliação dos distúrbios provocados pela ruído de tráfego apresenta algumas dificuldades e deve ser realizada com cautela.

A sensibilidade a ruídos varia de pessoa para pessoa. Há aquelas que são mais sensíveis, segundo Matsumura e Rylander (1991), 25% da população; e Öhrström (1988), 30%. Há variações de acordo com a idade e sexo: pessoas mais idosas e do sexo feminino tendem a ser mais sensíveis (Matsumura e Rylander, 1991).

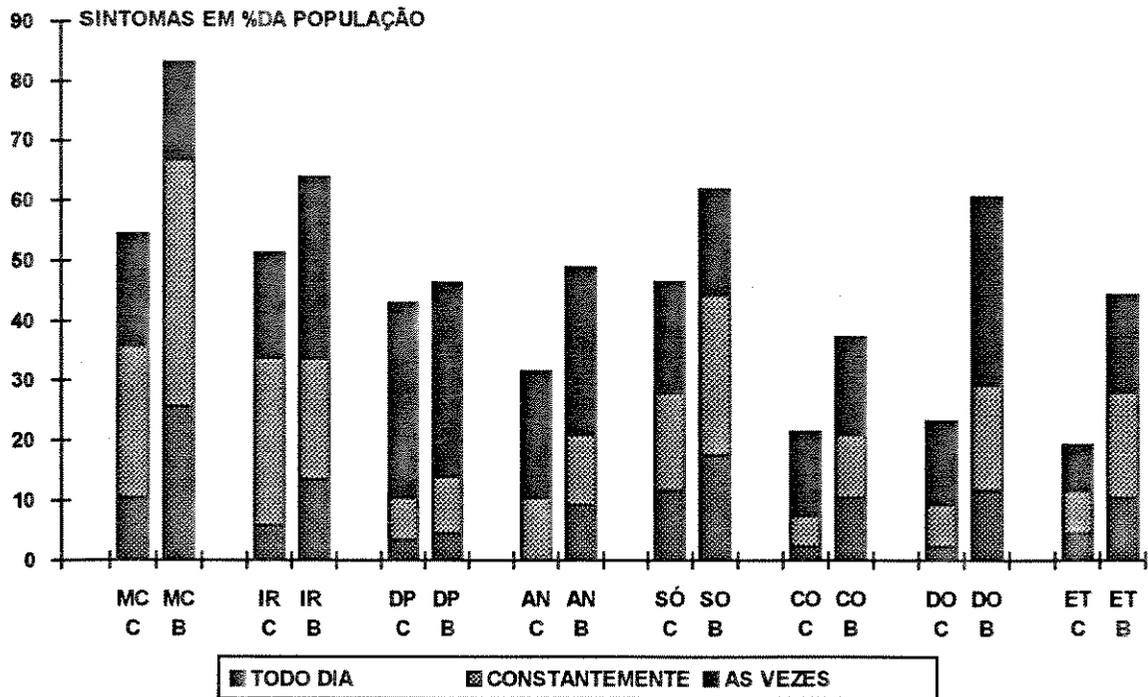


GRÁFICO V.7: SINTOMAS MÉDICOS E PSICO-SOCIAIS

FONTE: ÖHRSTRÖM (1989), THE SLEEP DISTURBANCE, PSYCO-SOCIAL AND MEDICAL SYMPTOMS - A PILOT SURVEY AMONG PERSONS EXPOSED TO HIGH LEVELS OF ROAD TRAFFIC

- Legenda:
- C: local com baixos índices de ruído
 - B: local com altos índices de ruído
 - MC: muito cansado
 - IR: irritado
 - DP: deprimido
 - AN: ansioso/nervoso
 - SO: vontade de ficar só
 - CO: problemas de concentração
 - DR: dores de cabeça
 - ET: dores de estômago devido a nervosismo

O sentimento da população em relação ao bairro e a aceitação ou não da fonte de ruído interferem em sua tolerância: se gosta-se do lugar onde se mora e se existe uma "simpatia" em relação à fonte de ruído, a tolerância ao ruído será maior. As diferenças culturais e padrões de vida também interferem no incômodo provocado pelo barulho. Podemos citar como exemplo uma pesquisa efetuada na Itália e na Suécia. Verificou-se que os Italianos ficam menos perturbados em presença de ruídos mais altos (COPPE/DENATRAN, 1980).

Na avaliação dos efeitos psico-sociais, é importante considerar o contexto político e social, satisfação com o trabalho, situação econômica e familiar. Pessoas que já se encontram estressadas ou que tenham muitos problemas são mais sensíveis.

2.7 Ruído Ferroviário

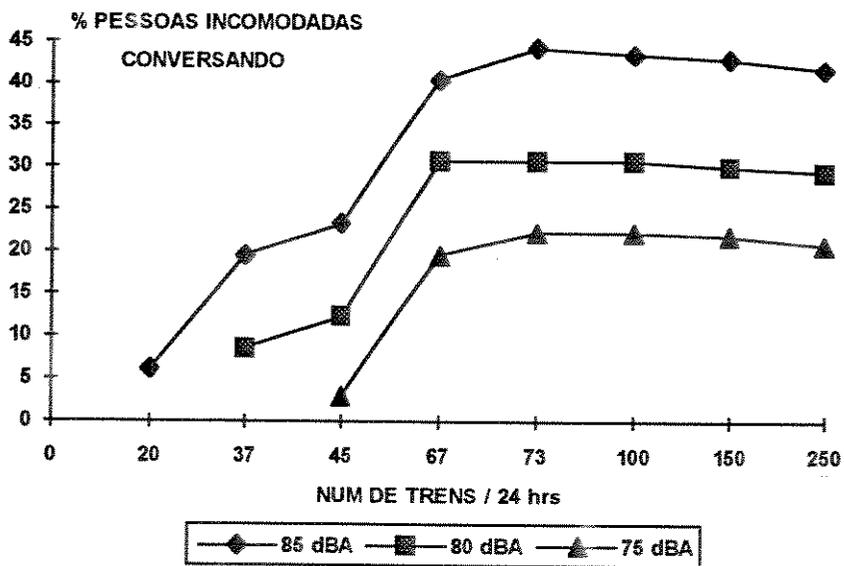
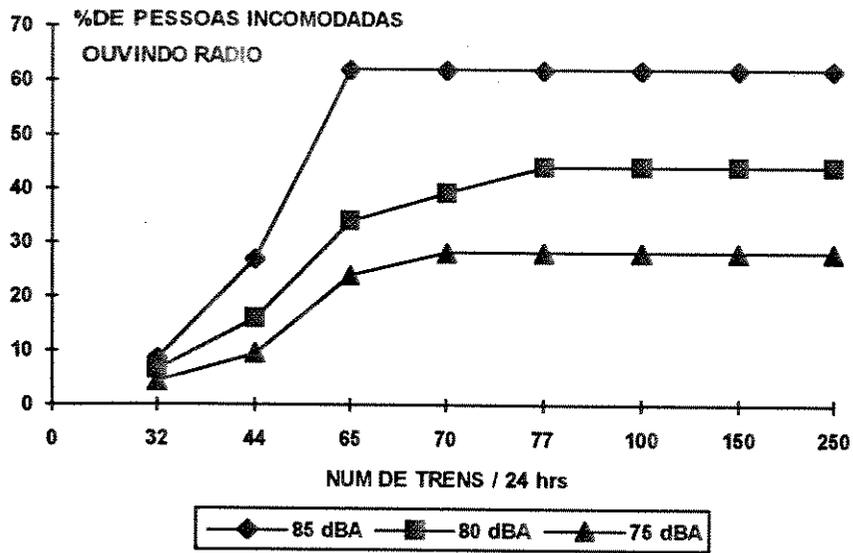
Os aspectos nocivos referentes ao ruído já foram apontados e são válidos neste caso. Este item efetua uma avaliação dos incômodos provocados por este modo de transporte, que inclui trens, metrô, VLT. É feita uma comparação com o transporte rodoviário.

Pesquisas realizadas na Inglaterra (Fields e Walker, 1982) mostraram que para um mesmo L_{eq} , abaixo de 50 - 60 dBA, o ruído proveniente dos transportes ferroviários é menos perturbador que o rodoviário ou aéreo.

O distúrbio provocado está diretamente associado ao número de trens. Sorensen e Hammar (1983) notaram que até um número de 50 trens sobre 24 horas, a um nível inferior a 85 dBA, não há incômodo, mas a partir de 60 trens/24 horas, o distúrbio cresce de acordo com o nível de dBA. O gráfico V.8 mostra a porcentagem de pessoas perturbadas para três níveis distintos de ruído de acordo com a atividade que está sendo desenvolvida.

Outra pesquisa realizada na França (Tisserand et alli, 1991) conclui que para L_{eq} de 70 dBA, a probabilidade de que os moradores sejam perturbados é certa e, abaixo de 60 dBA, as influências psicológicas parecem importantes.

O Gráfico V.9 mostra os resultados desta mesma pesquisa que analisou a reação da população frente ao barulho de trens durante quatro períodos distintos: sobre 24 hrs, de 0:00 - 24:00 hrs; durante o dia, 8:00 - 20:00 hrs; ao anoitecer, 19:15 - 22:15 hrs; à noite, 22:15 - 7:30 hrs.



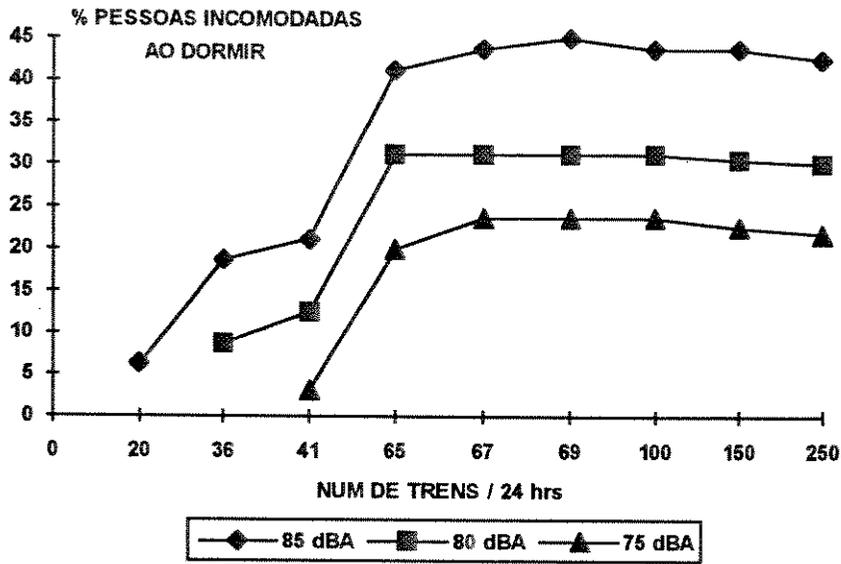


GRÁFICO V. 8 : NUMERO DE TRENS X PORCENTAGEM DA POPULAÇÃO INCOMODADA
 FONTE: SORENSEN e HAMMAR (1983), ANNOYNACE REACTIONS DUE TO RAILWAY NOISE

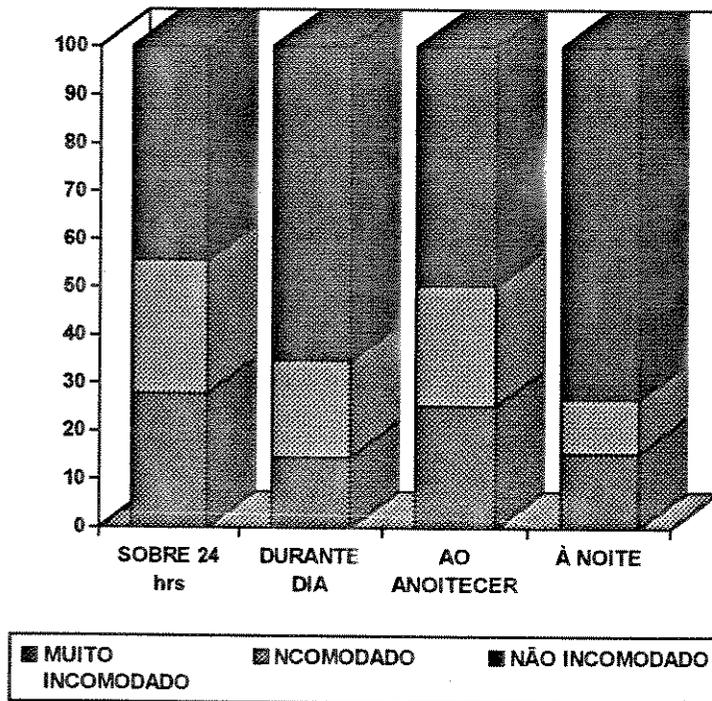


GRÁFICO V.9: EFEITO DO RUÍDO DE TRENS
 FONTE: TISSERAND ET ALLI (1991), IMPACT DU BRUIT DES TRAINS SUR LES RIVERAINS, RECHERCHE D'INDICATEURS SPÉCIFIQUES

3. VIBRAÇÃO

A vibração é consequência da propagação de uma onda mecânica em um meio inelástico. A diferença com as ondas sonoras é que aquela não se propaga no ar, necessita de um meio rígido.

Os parâmetros utilizados para medir a vibração são: a frequência (Hz), amplitude de vibração (mm) e a velocidade da partícula (mm/seg). As vibrações geradas pelo tráfego situam-se na faixa entre 1 e 45 Hz

Na tabela V.13 apresentam-se algumas fontes e as respectivas vibrações.

FONTE	LOCAL DE MEDIÇÃO	DESLOCAMENTO (10^{-3} mm)	VELOCIDADE (mm/seg)	ACELERAÇÃO (g)
• ONDAS NA PRAIA	SOLO	10^{-2}	10^{-4}	10^{-5}
• MEIO URBANO	EDIFÍCIO	10^{-1}	10^{-3}	10^{-4}
• TRÁFEGO URBANO	SOLO	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}
• PASSO • PORTA SENDO	EDIFÍCIO	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}
FECHADA • ESTRADA	EDIFÍCIO	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}
DE FERRO	SOLO	10^0	10^{-1}	10^{-2}
• DINAMITE	SOLO	10^2	10	10^{-1}
• TERREMOTOS	SOLO	10^2	10	10^{-1}

TABELA V.13: VALORES MÉDIOS DE VIBRAÇÃO PARA DIFERENTES FONTES
 FONTE: WALLER (1969), BUILDING ON SPRING

Como podemos ver na tabela V.13, a vibração provocada pelo tráfego urbano não é muito relevante; entretanto ela torna-se mais preocupante em algumas situações que veremos adiante.

4.1 Elementos Causadores de Vibração

A vibração causada pelo tráfego origina-se na passagem do veículo e é transmitida, sobretudo, pelo solo às redondezas.

A figura V.2 mostra de que forma ocorre a propagação da vibração devido aos veículos.



FIGURA V.2: PROPAGAÇÃO DA VIBRAÇÃO
 FONTE: COPPE/DENATRAN (1980), TRÁFEGO E MEIO AMBIENTE

O pavimento tem como uma de suas funções amortizar o fenômeno. Entretanto, a presença de rugosidades e irregularidades originam vibrações, além do fato da via ter constantemente valas, reparos e bueiros. Outra fonte é o veículo, que apresenta uma vibração própria transmitida ao solo, e cujo deslocamento gera ondas de pressão no ar.

Entre os fatores que afetam a vibração, podemos citar (COPPE/DENATRAN, 1980): velocidade, peso do veículo, número de frenagens e acelerações que quanto maiores, tornam mais intensa a vibração. O solo e o tipo de pavimentação exercem uma grande influência: quanto mais precário e rugoso, melhor será o meio para propagação. Para se obter um pequeno decréscimo na vibração, deve-se aumentar muito a espessura do

pavimento. Assim como o som, a vibração diminui de intensidade conforme se afasta da fonte.

4.2 Impactos da Vibração

Apesar do corpo humano ser bastante sensível à vibração, as provenientes do tráfego dificilmente produzem efeitos fisiológicos. Suas consequências encontram-se no terreno psicológico. O efeito nocivo da vibração manifesta-se sob a forma de fadiga, levando a uma queda de produtividade.

A tabela V.14 apresenta uma relação entre a intensidade de vibração, de acordo com a frequência, e os sintomas causados ao ser humano.

FREQUÊNCIA (Hz)	SINTOMAS
0.25 - 1	• ENJÔO • RESSONÂNCIA DA
2 - 4	CABEÇA • RESSONÂNCIA DO
4 - 6	CORPO INTEIRO • RESSONÂNCIA
7 - 9	ABDOMINAL • RESSONÂNCIA NÃO
10 - 12	ESPECIFICADAS NO TRONCO

TABELA V.14: A VIBRAÇÃO E SEUS EFEITOS
FONTE: COPPE/DENATRAN (1980), TRÁFEGO E MEIO AMBIENTE

Fields e Walker (1982) estudaram a vibração dos transportes ferroviários, suas consequências e a reação da população atingida. Através da pesquisa constataram que o maior efeito sentido pela população refere-se a vibração de casas e objetos interiores. O gráfico V.10 mostra esta relação de acordo com a distância e a porcentagem da população que reage.

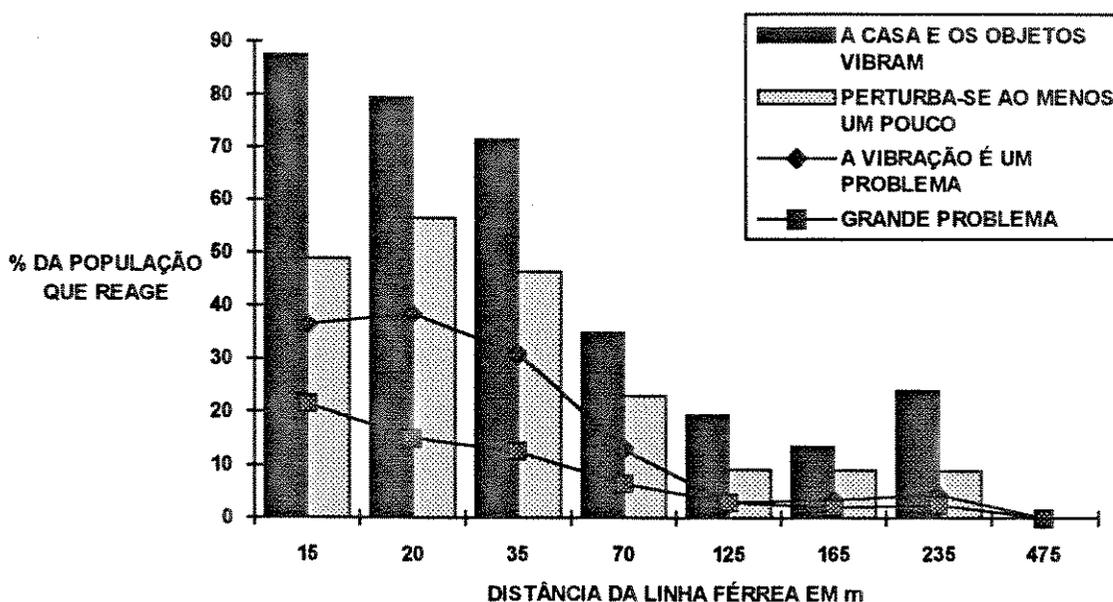


GRÁFICO V.10: REAÇÕES À VIBRAÇÃO EM FUNÇÃO DA DISTÂNCIA
 FONTE: FIELDS E WALKER (1982). THE RESPONSE TO RAILWAY NOISE
 IN RESIDENTIAL AREAS IN GREAT BRITAIN.

As vibrações provenientes do tráfego podem afetar os materiais e a estrutura dos edifícios. Os danos podem ficar em um nível arquitetônico, afetando os aspectos estéticos, por exemplo, trincas que não ocasionem perigo à construção; ou podem ser mais profundos, afetando as estruturas, prejudicando ou impedindo o uso e função do imóvel.

Muitas vezes, a vibração proveniente do tráfego, simplesmente antecipa ou potencializa problemas já existentes, como no caso de Ouro Preto e Parati, onde prédios antigos que já tinham ou viriam a apresentar problemas de estruturas foram danificados.

Outro fator importante é o efeito acumulativo. A tabela V.15 mostra estudos realizados na Tchecoslováquia onde se calculou o decréscimo na vida útil de uma edificação em função do fluxo de veículos. Calculou-se para um pavimento de paralelepípedo a 10 m da via; portanto, para pavimentos de asfalto, deve-se efetuar um ajuste.

% DE REDUÇÃO DA VIDA ÚTIL	FLUXO DE VEÍCULOS (VEÍC. EQUIVALENTE *)
0	ATÉ 200
4.0	260 - 600
7.5	600 - 960
10.0	960 - 1540
15.0	1540 - 2660
20.0	2260 - 3440
25.0	3440 - 4660
35.0	4660 - 74440
50.0	ACIMA DE 7440

TABELA V.15: DECRÉSCIMO DA VIDA ÚTIL DAS EDIFICAÇÕES
EM FUNÇÃO DO FLUXO DE VEÍCULOS, SOBRE 24 HRS
FONTE: HOUSE (1973), TRAFFIC - INDUCED VIBRATION IN BUILDINGS

(*) Ao calcular o fluxo do veículo considera-se o peso de acordo com a categoria. Assim temos os seguintes valores:

- caminhões com mais de 5 toneladas, ônibus ou bondes: 1 veículo
- caminhões com menos de 5 toneladas: 0.4 veículos
- bondes que circulam sobre trilhos com fundações precárias: 1.5 veículos

Uma consequência importante da vibração é a interferência ocasionada em certos equipamentos e instrumentos, principalmente, os de alta precisão como alguns tipos de espectrômetros de elétrons, osciloscópios e voltímetros (COPPE/DENATRAN, 1980).

4. INTRUSÃO VISUAL

A intrusão visual pode ser definida como elementos que interferem visualmente na paisagem urbana, criando obstáculos, ou restringindo a visibilidade, ou alterando as características ambientais e arquitetônicas.

O problema da intrusão visual está diretamente relacionado com o enfoque urbanístico voltado à estética e à vida agradável e prazerosa. Gallety (1991) cita três aspectos relevantes na questão do paisagismo urbano:

- Os valores arquitetônicos e estéticos devem ser agradáveis à vida, englobando noções de ambiente atmosférico e construções.
- A estrutura urbana deve tornar a cidade compreensível no sentido de facilidade de deslocamento e apresentar os espaços físicos bem definidos de acordo com a atividade da região.
- A cidade é constituída de símbolos, valores e representações culturais.

4.1 Elementos de Intrusão Visual

O sistema de transporte possui elementos causadores de intrusão visual, sendo os mais relevantes: a rede viária, os veículos e seu estacionamento, os terminais e a sinalização (Esteves, 1985).

Pertencente à rede viária destacam-se como elementos de intrusão visual as vias, elevados, passarelas e barreiras de segregação de tráfego.

Conforme ocorre a expansão urbana e a modificação da rede viária, ocorrem interferências no ambiente levando, muitas vezes, a uma obstrução do espaço urbano, acarretando sua descaracterização, que varia na forma e intensidade de acordo com a modalidade. Como exemplo, temos os viadutos e elevados que muitas vezes passam ao longo de edifícios e alguns entrocamentos compostos de uma infinidade de viadutos, passarelas, avenidas e rotatórias. Estes problemas ficam bem explícitos no "minhocão", na região do Vale do Anhangabaú em São Paulo ou no viaduto ao final da praia de Botafogo e na Praça das Bandeiras, no Rio de Janeiro. São exemplos também as barreiras criadas para isolar determinados sistemas de transportes, como as grades no corredor Nove de Julho-Santo Amaro em São Paulo ou os muros de segregação do transporte ferroviário.

O metrô de superfície e o VLT cortam a cidade com vias, em nível ou elevadas, totalmente segregadas. O sistema de trolebus, por ter uma alimentação aérea, também interfere na paisagem urbana com uma série de fios e postes. O trem suburbano, além da rede elétrica aérea, também apresenta vias segregadas interferindo na visibilidade.

Os veículos, não raras vezes velhos e mal conservados, assim como a utilização de cores e "lay-outs" sem nenhum padrão ou estudo visual, ocasionam uma paisagem desagradável. Outro fator relacionado aos veículos é o problema de estacionamento. Os automóveis a cada dia utilizam mais espaço ocupando grandes áreas que poderiam ser destinadas a outras atividades, sejam comerciais ou espaços públicos como parques e jardins.

Os terminais de ônibus, de integração modal e estações de metrô, devem ter características físicas e funcionais que atendam as suas necessidades, entretanto, são muitas vezes construídos pensando-se somente no custo da obra e na sua eficácia, não havendo a preocupação de integrá-los ao espaço urbano.

As sinalizações, fundamentais para o funcionamento e segurança do tráfego, constituídas de placas, semáforos, faixas de pedestres, quando mal conservadas ou mal afixadas, ao invés de auxiliarem o cidadão, causam desorientação e um péssimo arranjo visual. Pode também ocorrer delas interferirem dentro de outros ambientes, como um semáforo que interfere no interior de um imóvel ou placas que obstruem a visão de janelas.

Outro fator importante de intrusão visual, que apesar de não estar diretamente associado ao transporte urbano, utiliza-se das vantagens por ele oferecidas, são os out-doors, luminosos e propagandas instalados ao longo das vias de grande circulação, nos ônibus ou composições de trens e metrô.

4.2 Impactos da Intrusão Visual

Os impactos relativos à intrusão visual são em grande parte subjetivos e sutis, sendo sua análise difícil e controversa. Muitas vezes, os agentes causadores são necessários à circulação urbana e à segurança.

A consequência mais imediata diz respeito às questões de segurança e orientação. Os "out-doors" e luminosos desviam a atenção dos motoristas e a sinalização pode ficar

comprometida pela má conservação e superposição de vias, placas, anúncios, dificultando ou até mesmo impedindo a comunicação com o usuário.

A alteração do espaço urbano é muitas vezes causadora de uma descaracterização cultural, destruição do patrimônio histórico e da perda de referências individuais, levando os habitantes a se sentirem "estrangeiros" em seu próprio meio.

A salubridade de edifícios também pode ser prejudicada quando há placas, viadutos, etc... interferindo na luminosidade, renovação do ar e, muitas vezes, agravando a poluição sonora e atmosférica.

5. SEGREGAÇÃO URBANA

Assim como a intrusão visual, a segregação urbana está fortemente vinculada ao urbanismo e diretamente relacionada ao enfoque dado ao planejamento urbano.

A segregação urbana pode ser definida como a divisão ou ruptura de um núcleo urbano, quebrando a unidade física e dificultando a acessibilidade e a mobilidade dos usuários e da população local.

A partir do momento em que a acessibilidade foi reduzida ou prejudicada ocorre o fenômeno de segregação urbana.

5.1 Elementos de Segregação Urbana

A segregação urbana pode ser ocasionada pela divisão da cidade em núcleos, através da ampliação da rede viária existente, construção de sistemas de transportes segregados, corredores de ônibus, trens, VLT, ou pelo aumento do fluxo na malha já existente.

Como exemplo temos os corredores de ônibus com faixa tipo A; a implantação do VLT em Campinas, que obriga uma parcela da população local a efetuar um grande deslocamento a pé para poder atravessar a via; ruas que eram tranquilas e hoje apresentam um grande fluxo de veículos, dificultando ou impedindo principalmente crianças, idosos e deficientes de efetuarem a travessia.

Outro contexto onde pode ocorrer uma forte segregação urbana são nos núcleos habitacionais que se desenvolvem ao longo de eixos de transportes implantados que acarretam, no primeiro momento, um aumento de acessibilidade à região, acompanhado de um baixo valor do solo. É o caso do crescimento populacional ao longo da rodovia D. Pedro, no trecho inicial que corta a cidade de Campinas, São Paulo.

Os veículos em si não são uma fonte de segregação urbana. Eles a geram através das estruturas físicas necessárias à sua circulação e do fluxo de tráfego.

5.2 Impactos da Segregação Urbana

Os impactos gerados pela segregação urbana nem sempre são de fácil identificação e classificação por conterem muitos aspectos subjetivos.

As consequências mais aparentes relacionam-se à questão da acessibilidade e segurança. Num contexto mais amplo, a construção ou ampliação da rede ou do sistema de transporte visa a um aumento da acessibilidade. Entretanto, quando seu traçado corta uma comunidade ao meio, a acessibilidade da população local fica reduzida, ao menos no que concerne aos pequenos deslocamentos que poderiam ser efetuados a pé ou de bicicleta.

Esta ruptura atinge a população local ao dificultar a travessia da nova via e ao ser um elemento gerador de acidentes e atropelamentos. Consequentemente há um aumento da insegurança da população e uma queda na acessibilidade também por ser necessário efetuar-se um grande deslocamento, muitas vezes a pé, para realizar a travessia.

Na divisão da comunidade, o núcleo urbano existente pode ser prejudicado caso ocorra a separação entre o comércio e os serviços locais, escolas, empregos, postos de saúde e residências.

As consequências vão além da perda da acessibilidade, levando a uma perda da identidade física e cultural da comunidade, que a partir de então pode-se desenvolver separadamente criando dois espaços diferentes, chegando, mesmo, a influir no uso e ocupação do solo devido ao retraimento do comércio local e ao surgimento de novas tendências de urbanização (Grein, 1984).

Cristopher Alexander (1968), partindo do princípio que a cidade é um local para se estabelecer contatos, efetuou um estudo das áreas urbanas e mostrou como nas sociedades modernas a perda da identidade social e do contato mais "íntimo" entre indivíduos causam problemas sociais e psicológicos. Entre as "patologias sociais" ele inclui a delinquência e desordens mentais

Pode também ocorrer o deslocamento da população devido à falta de segurança, a descaracterização da comunidade e a perda da identidade social.

Outro problema decorrente da segregação urbana é a necessidade de atender a demanda do tráfego global e local, fator gerador de superposição de funções nas vias,

ocasionando uma queda nas condições operacionais e de manutenção (GEIPOT/EBTU/DNER/MT, 1983).

6. MEDIDAS MITIGADORAS

Apesar de não ser nosso propósito o estudo de medidas mitigadoras, que diminuam os impactos dos sistemas de transportes, citaremos alguns fatores que atuam positivamente.

O desenvolvimento e inovações tecnológicas atuam como redutores, principalmente, da poluição sonora e atmosférica. Nota-se, claramente, este fenômeno comparando-se a emissão de ruídos em veículos novos e antigos (vide tabela V.1), e o desenvolvimento de tecnologias de motores a gás ou elétricos.

Alternativas energéticas, como o diesel ecológico que apresenta uma taxa de 0.5 % de dióxido de enxofre ao invés de 1 % (Mercedes-Benz, 1989), ou o uso de catalisadores, juntamente com fiscalizações periódicas visando a manutenção e regulagem do motor, são medidas eficazes ao combate da poluição atmosférica.

Como visto anteriormente, o uso de barreiras que absorvam o som e de vias elevadas ou em nível inferior às construções, diminuem consideravelmente o nível de dBA perceptível pela população. Uma pavimentação que drene água, não permitindo seu acúmulo, pode diminuir o nível de ruído em até 6 dBA (Lamure, 1992).

Uma vez que a vibração está relacionada ao tipo de solo, ela pode ser amenizada mediante uma pavimentação adequada ao uso da via e do controle da circulação de veículos pesados.

A segregação urbana será menor com a instalação de faixas, semáforos, passarelas e passagens subterrâneas para pedestres. Deve-se, entretanto, ficar atento à harmonização com o meio a fim de evitar-se a intrusão visual.

Pode-se reduzir a intrusão visual através da hierarquização das vias, do planejamento da disposição de sinalizações e um controle sobre "out-doors", "lay-outs" e propagandas. A regulamentação e controle do estacionamento de veículos e de um estudo arquitetônico de construções necessárias, de forma a integrá-las ao ambiente, também são eficazes.

A organização do tráfego urbano reduz a emissão de poluentes, o nível de ruído e atropelamentos. Entretanto, estas medidas podem se tornar ineficientes em um curto período de tempo, pois uma melhora da circulação incentiva o uso do automóvel.

Uma redução do limite da velocidade no meio urbano levaria a uma diminuição do barulho, desde que o tráfego seja fluído, de atropelamentos e da segregação urbana.

O planeamento de todo o sistema de transporte, visando a otimização da rede, diminuição do número de viagens, limitação da circulação dos carros, controle do estacionamento, um maior uso do transporte coletivo, são medidas muito úteis. A regulamentação do transporte de carga é eficiente no combate à poluição sonora e atmosférica além de proporcionar maior fluidez do tráfego.

Lamure (1992) cita a utilização de vias cobertas como uma forma de reduzir os impactos dos sistemas de transporte. As vias podem apresentar uma cobertura artificial ou serem construídas na forma de túneis. Haveria uma redução da poluição sonora e atmosférica, da intrusão visual e da segregação urbana. Seriam preservados imóveis, monumentos, parques e jardins. Entretanto é uma solução com custo elevado e no interior da via, seja ela coberta ou em túnel, pode ocorrer um alto índice de poluição. Por exemplo, no túnel Sta Bárbara, Rio de Janeiro, foram feitas várias obras e proibiu-se o tráfego de veículos pesados durante alguns períodos do dia, devido à forte poluição atmosférica.

VI. IMPACTOS SÓCIO-ECONÔMICOS

Os impactos sociais referem-se às alterações das relações do homem com o ambiente, além de mudanças nas características da população, no padrão e qualidade de vida. Entendemos por ambiente o espaço físico em que ele vive e as relações culturais e institucionais como as familiares, sociais, trabalhistas etc...

As mudanças no sistema econômico vigente, no nível econômico da população, nas relações das atividades e na produtividade de uma região são classificados como impactos econômicos. Acarretam um desenvolvimento ou uma retração das atividades econômicas.

Muitas vezes, os impactos econômicos são responsáveis diretos por mudanças no padrão e qualidade de vida da população, tendo assim, também, um caráter social. Como também alguns impactos sociais acarretam alterações no padrão econômico da população.

Os impactos sociais e econômicos são, via de regra, secundários e provenientes dos impactos ambientais, técnico-operacionais ou da configuração urbana. Não detalharemos estas categorias de impactos por já terem, em muitos casos, sido citados nos capítulos anteriores e por não serem objeto principal deste estudo, inclusive a segregação urbana e a intrusão visual são classificadas como impactos sociais por alguns autores.

Os impactos citados abaixo não apresentam uma distinção entre sociais e econômicos devido à estreita relação muitas vezes existentes.

- 1. Perda da identidade física e cultural:** refere-se à alteração de uma comunidade onde ocorre uma grande transformação urbana levando seus habitantes a perder seus referenciais e a identificação com o local.

2. **Danos à saúde tanto mental quanto física:** devido sobretudo à poluição atmosférica, sonora e vibração apesar dos outros impactos primários também exercerem certa influência.
3. **Perda do patrimônio físico e cultural:** ocorre na alteração do uso do solo quando há substituições de antigos imóveis por prédios modernos, descaracterização da região com uso de faixas, "out-doors" e luminosos ou desapropriações para ampliação de vias. Muitas vezes, atinge imóveis históricos ou significativos à população.
4. **Insegurança:** devido ao medo de acidentes e atropelamentos causados pelo aumento do fluxo do tráfego.
5. **Desapropriações:** decorrentes da necessidade de ampliação ou instalação da via. Ocasiona problemas à população atingida pois dificilmente terão uma moradia com as mesmas qualidades ocasionando uma queda na qualidade de vida.
6. **Deslocamento da população:** causada pelo alto valor do solo que impossibilita uma parcela da população de habitá-lo, por uma busca de lugares com uma melhor qualidade de vida ou devido a desapropriações.
7. **Valorização do solo:** proveniente de um aumento da acessibilidade ou alteração no uso do solo.
8. **Alteração no nível de empregos:** deve-se ao desenvolvimento ou retração da região atingida. A principal consequência refere-se à alteração no uso do solo que gera um desenvolvimento das atividades de serviço e do comércio local gerando empregos na região. Dificilmente ocorre uma retração.
9. **Ruptura no comércio e negócios locais:** com a alteração no uso do solo muitos comerciantes antigos perdem sua clientela devido a instalação de novos e melhores estabelecimentos ou por ficarem com sua localização prejudicada.
10. **Aumento ou redução do custo do deslocamento:** consequência direta da tarifa.

VII. MÉTODO DE ANÁLISE HIERÁRQUICA

O Método de Análise Hierárquica (MAH) é um procedimento multicritério, de auxílio à tomada de decisão, que agrupa atributos das alternativas em estudo de uma forma hierárquica. Foi desenvolvido por Saaty (Saaty, 1977) e tem vasta utilização nos processos decisórios de gerência e planejamento.

O método baseia-se no princípio de que, para tomar decisões, as experiências e o conhecimento das pessoas são ao menos, tão válidos quanto os dados utilizados. Baseia-se ainda nos seguintes axiomas, (Vargas, 1990):

- Os agentes são capazes de efetuar comparações e indicar preferências.
- As preferências são indicadas por uma escala limitada.
- Quando expressas as preferências, os critérios em questão, são considerados como independentes das propriedades das alternativas.

A metodologia se desenvolve em duas etapas: elaboração e avaliação da hierarquia e dos atributos das diversas alternativas.

A elaboração da hierarquia requer experiência e conhecimento do problema. Duas pessoas construiriam hierarquias diferentes e, tendo preferências distintas, não levariam à mesma solução. Deste modo todo o processo baseia-se em um trabalho conjunto, em que um grupo busca chegar a um consenso sobre a hierarquia e a ponderação de seus elementos.

A avaliação da hierarquia consiste em se atribuir pesos aos elementos de cada nível hierárquico em relação aos elementos do nível abaixo. Constrõem-se deste modo matrizes de comparações paritárias onde cada valor indica quanto um elemento domina o outro em relação ao critério que está sendo avaliado.

1. DEFINIÇÃO DE HIERARQUIA

Uma hierarquia é uma abstração da estrutura de um sistema que tem a finalidade de explicar/estudar as interações de seus elementos e os reflexos em todo o sistema. Segundo Saaty (Saaty, 1990) uma hierarquia é um tipo particular de sistema baseado no conceito de que diferentes atributos podem ser agrupados em níveis distintos em que os elementos de um nível influenciam somente os elementos de outro nível.

1.1 Elementos da Hierarquia

Uma hierarquia é composta de:

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

1.2 Estruturação da Hierarquia

A estruturação de uma hierarquia deve ser efetuada com todo cuidado pois ela é fundamental para a análise desejada. Uma hierarquia mal elaborada, que não espelhe a realidade, não trará resultados confiáveis.

Para efetuar-se uma boa modelagem deve-se:

- levantar todos elementos e agrupá-los de acordo com as características comuns;
- definir os níveis hierárquicos estabelecendo as prioridades entre os grupos;
- estabelecer as relações de causa/efeito entre os elementos de um nível em relação ao nível abaixo.

A figura VII.1 mostra a estrutura de uma hierarquia que visa estudar os impactos negativos de duas alternativas tecnológicas de transporte urbano: ônibus e metrô. Definiram-se quatro níveis: o primeiro é o objetivo do estudo; o segundo, os critérios avaliados (poluição atmosférica, sonora e vibração); o terceiro, as consequências (danos à saúde e aos materiais); e o quarto, último nível, as alternativas (ônibus e metrô).

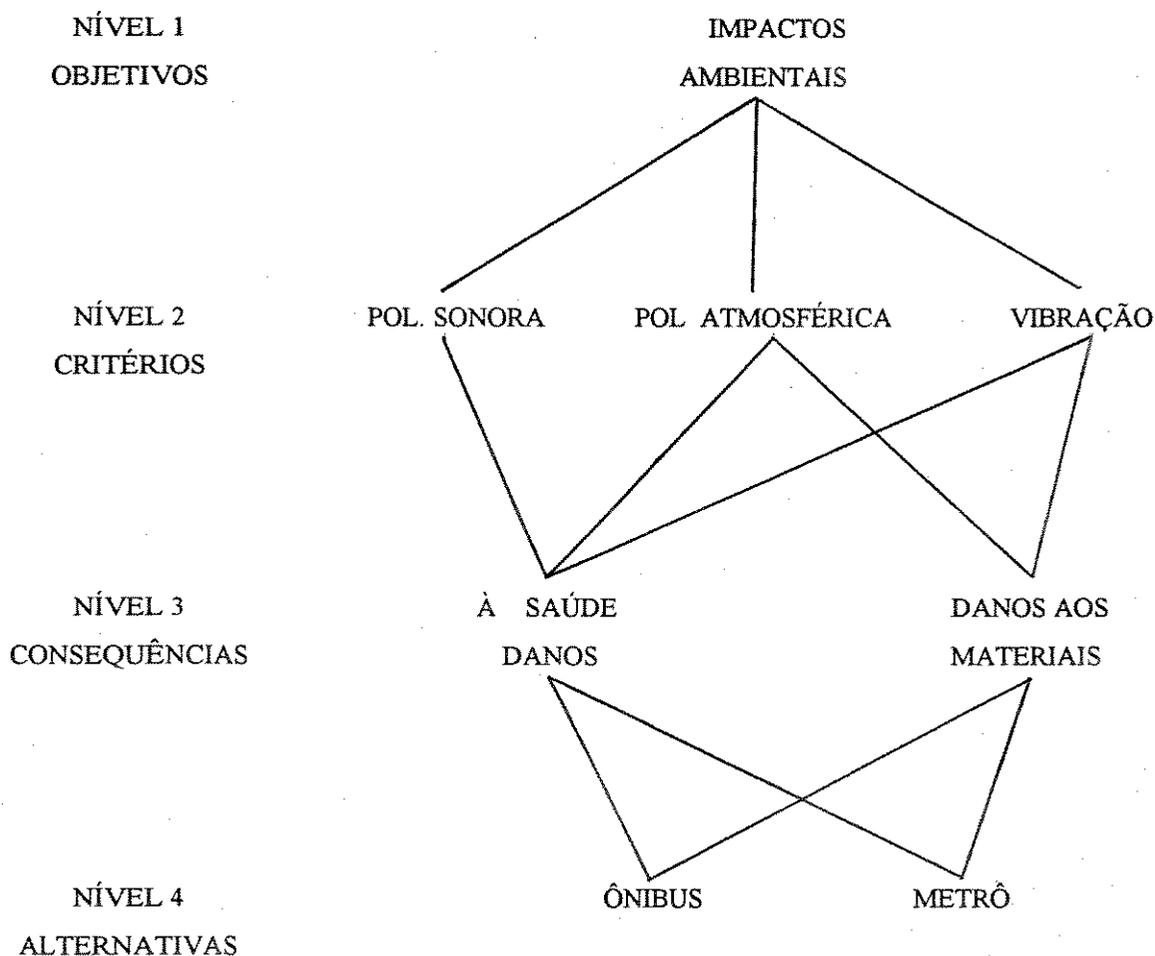


FIGURA VII.1 HIERARQUIA DOS IMPACTOS AMBIENTAIS DOS ÔNIBUS E METRÔ

1.3 Tipos de Hierarquias

Definiu-se três tipos de hierarquias:

- 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.

1.4 Vantagens da Hierarquia

A vantagem da hierarquia é que através dela pode-se entender as inter-relações de todo o sistema pelas interações dos vários níveis com os elementos do nível acima ou abaixo. Uma hierarquia bem construída será, na maioria dos casos, um bom modelo matemático, mesmo que possíveis realimentações não sejam consideradas (Saaty, 1990). O autor aponta as seguintes vantagens:

- a representação hierárquica de um sistema pode ser usada para mostrar como mudanças em um nível superior afetam as prioridades dos níveis inferiores
- elas fornecem grandes detalhes de informações sobre a estrutura e as funções de um sistema nos níveis mais baixos permitindo uma visão geral dos atores e de suas influências nos níveis acima;
- os sistemas representados de forma parcial e hierárquica são mais facilmente analisados do que os elaborados como um todo;
- hierarquias são estáveis e flexíveis, isto é, pequenas modificações têm pequenos efeitos e adições a uma hierarquia bem montada não perturbam o sistema.

2. AVALIAÇÃO DOS ELEMENTOS

O MAH trabalha com elementos quantificáveis ou não. Para ser possível a manipulação de ambos utiliza-se uma escala numérica e pondera-se a relação entre eles.

Esta comparação é feita de uma forma paritária. Elaboram-se matrizes que possuem os mesmos elementos de entrada nas linhas e colunas e comparam-se os elementos dois a dois.

2.1 Elaboração das matrizes

A cada elemento da hierarquia, exceto aos pertencentes ao último nível, corresponderá uma matriz.

A matriz de um elemento é formada pelos elementos do nível abaixo interligados, ao primeiro, por um arco. Para melhor compreensão analisou-se um elemento da figura VII. 1.

O critério vibração, elemento pertencente ao segundo nível, possui arcos direcionados aos elementos "danos à saúde" e "danos aos materiais", pertencentes ao nível abaixo. Portanto a matriz relativa a este critério é (figura VII.2):

VIBRAÇÃO	DANOS À SAÚDE	DANOS AOS MATERIAIS
DANOS À SAÚDE		
DANOS AOS MATERIAIS		

FIGURA VII.2 MATRIZ DE COMPARAÇÕES PARITÁRIAS

2.2 Atribuição dos Valores

A ponderação dos valores é feita comparando-se os elementos dois a dois em relação ao objetivo. Avalia-se quão maior é a contribuição de um elemento em relação ao outro para atingir-se o objetivo. Ou seja, ao se comparar os danos à saúde e aos materiais, deseja-se saber a razão entre os dois, o quanto um é mais atingido que o outro em relação à vibração.

As consequências da vibração são muito maiores nos materiais do que na saúde. Traduzindo isto para uma escala numérica, pode-se dizer que a razão materiais/saúde é 7, baseado em uma escala de 1 a 9, que será justificada no próximo item. A razão materiais/saúde corresponde ao elemento a_{21} da matriz de comparações paritárias.

Deste modo preencheu-se todas as células da matriz, observando que só é necessário avaliar-se a diagonal superior da matriz uma vez que a comparação saúde/materiais é o inverso de materiais/saúde portanto $a_{ij} = 1/a_{ji}$ e os elementos da diagonal principal

são sempre a unidade pois, ao comparar-se um elemento com ele mesmo, tem-se a razão 1. O procedimento está exemplificado na figura VII. 3.

VIBRAÇÃO	DANOS À SAÚDE	DANOS AOS MATERIAIS
DANOS À SAÚDE	1	1/7
DANOS AOS MATERIAIS	7	1

FIGURA VII. 3: MATRIZ DE COMPARAÇÕES PARITÁRIAS
PREENCHIDAS COM OS JULGAMENTOS

Por uma questão de convenção, compara-se os elementos da coluna à esquerda com os da linha à direita.

2.3 Processo de Julgamento

A atribuição de valores é baseada no julgamento dos agentes envolvidos que necessitam chegar a um consenso. Para tanto deve-se estudar o problema desde o início com os participantes e os grupos conflitantes uma vez que não há intermediações de terceiros ou questionários. À medida que se desce na hierarquia, vai-se em direção aos níveis operacionais e as divergências tendem a aumentar. Caso não se atinja um consenso sobre determinado assunto, de acordo com Saaty (1990) pode-se efetuar a média geométrica dos valores individuais. Saaty levanta algumas questões que influem nos julgamentos:

- efeito primário: tendência a dar preferência ao que for examinado primeiro;
- efeito do mais recente: influência das informações mais recentes;
- comportamento de leigos: pessoas que não têm conhecimento do assunto;
- tendência de aceitar a influência pessoal durante a participação em tomadas de decisão em grupo.

Além destes itens o autor considera outros fatores que podem interferir nos julgamentos. Os mais relevantes são: inteligência, experiência em áreas a fim, currículo e profundidade de conhecimento.

2.4 Escala

Adotou-se a mesma escala utilizada por Saaty. A escala é composta, basicamente, de número inteiros de 1 a 9. A descrição e o significado de cada valor estão descritos na tabela VII. 1.

INTENSIDADE	DEFINIÇÃO	EXPLICAÇÃO
1	MESMA IMPORTÂNCIA	AS DUAS ATIVIDADES CONTRIBUEM IGUALMENTE
3	IMPORTÂNCIA PEQUENA DE UMA SOBRE A OUTRA	UMA ATIVIDADE LEVEMENTE FAVORECIDA
5	IMPORTÂNCIA ESSENCIAL OU GRANDE	UMA ATIVIDADE FORTEMENTE FAVORECIDA
7	IMPORTÂNCIA MUITO GRANDE	UMA ATIVIDADE DOMINA A OUTRA
9	IMPORTÂNCIA ABSOLUTA	UMA ATIVIDADE FAVORECIDA COM ALTO GRAU DE CERTEZA
2, 4, 6, 8	VALORES INTERMEDIÁRIOS	REFINAMENTO DA ESCALA
RECÍPROCOS	INVERSÃO DA ORDEM DE COMPARAÇÃO	SE A É X VEZES MAIOR QUE B, B 1/X VEZES MAIOR QUE A
RACIONAIS	RAZÃO RESULTANTE DE OPERAÇÕES COM A ESCALA	QUANDO EFETUAMOS CORREÇÕES DE JULGAMENTO

TABELA VII.1: VALORES E DEFINIÇÃO DA ESCALA
 FONTE: SAATY (1990), THE ANALYTIC HIERARCHY PROCESS

A razão da escala estar basicamente entre 1 e 9, utilizando os valores inteiros, deve-se sobretudo a dois aspectos:

- o ser humano tem habilidade de efetuar julgamentos e distinções representativas utilizando os cinco atributos: igual, fraco, forte, muito forte e absoluto; ao adicionar-se valores intermediários chega-se a 9;

- Miller (1956) mostrou que o limite de comparações simultâneas é 7 ± 2 objetos; como as comparações não passam de 9 objetos ao adotar-se uma escala que distinga todos entre si, não se necessita mais do que 9 valores.

Maiores detalhes sobre a utilização desta escala bem como a comparação com diversas outras encontram-se em Saaty (1990).

3. CÁLCULO DAS PRIORIDADES

3.1 De uma Matriz

Supondo que se esta comparando um conjunto de n objetos. Sejam A_1, A_2, \dots, A_n os objetos em questão e $w^t = (w_1, w_2, \dots, w_n)$ o vetor de pesos relativos. A matriz $A_{n,n}$ de comparações paritárias é representada por:

	A_1	A_2	...	A_j	...	A_n
A_1	w_1 / w_1	w_1 / w_2	...	w_1 / w_j	...	w_1 / w_n
A_2	w_2 / w_1	w_2 / w_2	...	w_2 / w_j	...	w_2 / w_n
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
A_j	w_j / w_1	w_j / w_2	...	w_j / w_j	...	w_j / w_n
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
A_n	w_n / w_1	w_n / w_2	...	w_n / w_j	...	w_n / w_n

Seja $a_{ij} = w_i / w_j$

com: $a_{ij} > 0 \Rightarrow A$ é matriz positiva
 $a_{ji} = 1 / a_{ij} \Rightarrow A$ é matriz recíproca

multiplicando-se a matriz A pelo vetor w obtem-se:

$$A w = n w$$

O problema consiste em definir quais os valores das componentes do vetor w . Deve-se, então, resolver o seguinte sistema:

$$(A - nI)w = 0$$

que possui solução não nula se e somente se n for um autovalor de A . Consequentemente w será o autovetor associado.

De acordo com a teoria matricial os autovalores (λ) de uma matriz correspondem as raízes do polinômio característicos, que representa a solução de $\det |A - \lambda I| = 0$, dado por:

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

a solução de $P(\lambda)$ são os m autovalores ($\lambda_i, i = 1, \dots, m$) da matriz A , caso $m < n$ a equação possui autovalores múltiplos.

Outro fato importante refere-se ao fato da matriz A ter posto (p) unitário pois todas as linhas da matriz são múltiplas da primeira. Assim só há um autovalor diferente de zero, o que nos garante a unicidade da solução. Além disto todos os elementos da diagonal principal são iguais a 1, logo, o traço de A é igual a n .

A soma dos autovalores de uma matriz é igual ao seu traço, neste caso sabemos que: o traço da matriz é n e só há um autovalor diferente de zero, portanto este autovalor será igual a n , e uma vez que ele é único (todos os outros são nulos) pode-se afirmar que ele é o máximo autovalor (λ_{\max}) da matriz.

Tem-se então que,

$$p = 1$$

$$\Rightarrow \begin{aligned} \lambda_j &= 0, & j &= 1, 2, \dots, i-1, i+1, \dots, n \\ \lambda_i &\neq 0, & i &\neq j \end{aligned}$$

como

$$L_k$$

e

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j = \lambda_i = \text{tr}(A) = n$$

pode-se escrever que:

$$\lambda_i = \lambda_{\max} = n$$

e a solução do sistema é qualquer coluna de A , as colunas de A são formadas por vetores do tipo $(w_1/w_j, w_2/w_j, \dots, w_n/w_j)^t$. Normalizando o vetor tem-se uma solução única independentemente da coluna adotada.

Sendo assim o problema consiste em determinar o maior autovalor e o autovetor associado, solução parcial do problema pois fornece os pesos relativos da matriz correspondente e não a solução da hierarquia.

3.2 Da Hierarquia

Primeiramente definiu-se $w_{i,j}$ como o autovetor da matriz j do nível i e $v_{i,j}$ o vetor prioridade da matriz j do nível i considerando-se a influência dos níveis hierárquicos inferiores, h o número de níveis da hierarquia e m_k o número de elementos do nível k , $k = 1, \dots, h$.

Para calcular-se a prioridade da hierarquia deve-se:

- i. Calcular o maior autovalor e o autovetor associado para cada matriz da hierarquia, exceto as do último nível (h): $w_{i,j}$ para $i=1,2,\dots,h-1$ e $j = 1, \dots, m_k$.
- ii. Fazer $v_{i,j} = w_{i,j}$ para todos os elementos pertencentes ao nível $h-1$.
- iii. Calcular o vetor prioridade para todos os elementos da hierarquia pertencentes aos níveis do primeiro a $h-2$: $v_{i,j}$ para $i=1,2,\dots,h-2$, do seguinte modo:
 - dado o nó j do nível i , monte uma matriz cujas colunas são os vetores prioridades dos elementos do nível $i+1$ que possuem um arco associado ao nó (i,j) ;
 - multiplique esta matriz por $w_{i,j}$
 - faça $v_{i,j}$ igual ao resultado desta multiplicação
- iv. $v_{1,1}$ é a solução da hierarquia

Note que $v_{i,j}$ contém as prioridades do nó j do nível i considerando-se a influência dos níveis hierárquicos inferiores.

4. HIERARQUIAS E PRIORIDADES

Seja H um conjunto finito e parcialmente ordenado, tendo como maior elemento b . H , é uma hierarquia se:

- Há uma partição de H em conjuntos $L_k, k = 1, \dots, h$ e $L_1 = \{b\}$
- $x \in L_k \Rightarrow x^- \subset L_{k+1}, \quad k = 1, \dots, h - 1$
- $x \in L_k \Rightarrow x^+ \subset L_{k-1}, \quad k = 2, \dots, h$

onde: $x^- = \{y / x > y \text{ e } \exists t \text{ tal que } y < t < x\}$
 $x^+ = \{y / x < y \text{ e } \exists t \text{ tal que } x < t < y\}$

Para cada $x \in H$ definiu-se uma função de ponderação (w_x) onde

$$(w_x) : x^- \rightarrow [0, 1] \text{ tal que } \sum_{y \in x^-} w_x(y) = 1$$

Os conjuntos L_k são os níveis da hierarquia e a função w_x é a função prioridade.

Dado uma hierarquia com $L_1 = b$ e os subconjuntos $L_k, k = 1, \dots, h$ de atividades, deve-se determinar quais as prioridades dos elementos do último nível (h) em relação a b .

Isto é, dado um elemento $x \in L$ e um subconjunto $S \subset L_q$, como definir uma função $v_{x,s} : S \rightarrow [0, 1]$ que reflita as propriedades das funções prioridades w_y nos níveis $L_k, k = p, \dots, q - 1$ ($p < q$)? Ou seja, qual é a função composta $v_{b,L_h} : L_h \rightarrow [0, 1]$?

Supondo que $Y = \{y_1, \dots, y_{m_k}\} \subset L_k, X = \{x_1, \dots, x_{m_{k+1}}\} \subset L_{k+1}$ e que existe $z \in L_{k-1}$ tal que $y \in z^-$.

Sejam as funções prioridades:

$$w_z : Y \rightarrow [0, 1] \text{ e } w_y : X \rightarrow [0, 1] \quad j = 1, \dots, m_k$$

a função prioridade dos elementos em X relativos a $z, v : X \rightarrow [0, 1]$

$$v(x_i) = \sum_{j=1}^{m_k} w_{y_j}(x_i) w_z(y_j) \quad i = 1, \dots, m_{k+1}$$

que consiste em ponderar a influência do elemento y_j na prioridade de x_i multiplicando-o pela importância de y_j com respeito a z .

Os conceitos acima serão escritos na forma matricial por ser mais simples e utilizado pelo MAH.

Seja a matriz B com m_k trocas e $W_i = w(x_i)$, $W_j = w_z(y_j)$ então,

$$V_i = \sum_{j=1}^{m_k} b_{ij} W_j \quad i = 1, \dots, m_{k+1}$$

portanto o vetor prioridade V é dado por:

$$V = BW$$

Saaty (1990) cita o seguinte Princípio de Composição Hierárquica de Adição e Ponderação:

"Dados dois conjuntos finitos S e T . Seja S um conjunto de n propriedades independentes e T um conjunto de m objetos que possui as propriedades de S como características. Assuma que um peso numérico, prioridade, índice de importância relativa, $w_j > 0$, $j = 1, \dots, n$ foi associado a cada $s_j \in S$, tal que $\sum_{j=1}^n w_j = 1$. Seja

$w_{ij} > 0$ $i = 1, \dots, m$, com $\sum_{i=1}^n w_{ij} = 1$, pesos associados a $t_i \in T$, $i = 1, \dots, m$, relativos a s_j . Então a combinação convexa de w_{ij} , $j = 1, \dots, n$,

$$\sum_{j=1}^n w_{ij} w_j \quad i = 1, \dots, m$$

fornece a prioridade numérica ou importância relativa de t_i com relação a S . Note que este princípio pode ser generalizado para uma cadeia (hierarquia)."

O princípio acima é baseado na definição e teoremas a seguir (Saaty, 1990).

Definição

Supondo-se que para cada atividade e_j em L_k há uma escala ordinal o_j sobre as atividades e_i , $i = 1, \dots, m_{k+1}$ em L_{k+1} , define-se uma ordem parcial sobre L_{k+1} por $e_i > e_q$ se e somente se $o_{i_j} > o_{q_j}$, $j = 1, \dots, m_k$.

Teorema 1

Seja $(w_{1j}, \dots, w_{n_{k+1}j})$ o vetor prioridade de L_{k+1} em relação a e_j , e suponha que a ordem o_{i_j} seja preservada. Seja $V_1, \dots, V_{m_{k+1}}$ o vetor prioridade composto de L_{k+1} . Então $e_p \geq e_q$ implica $V_p \geq V_q$.

Teorema 2

Seja H uma hierarquia completa com elemento máximo b e h níveis. Seja B a matriz prioridade do k -ésimo nível, $k = 2, \dots, h$. Se W é o vetor prioridade do p -ésimo nível em relação a alguns elementos z no nível $(p - 1)$, então o vetor prioridade V do q -ésimo nível ($p < q$) em relação a z é dado por

$$V = B_q B_{q-1} \cdots B_{p+1} W$$

ou seja, a prioridade do último nível em relação ao máximo elemento b do primeiro nível é dada por

$$V = B_h B_{h-1} \cdots B_2 W_b$$

5. INCONSISTÊNCIA DE JULGAMENTO

A matriz A possui uma outra característica: ela é consistente. Defiu-se consistência como a intensidade real com a qual a preferência é expressa ao longo de uma sequência de objetos em comparação, o que resulta uma certa proporcionalidade entre os elementos da sequência. Inconsistência é a violação desta proporcionalidade, por exemplo: ao afirmar-se que $A > B$, $B > C$ e $C > A$ não há consistência de julgamento.

Pode-se expressar matematicamente como:

$$a_{ik} = a_{ij} * a_{jk} \quad (\text{VII.1})$$

$$a_{ik} = \frac{w_i}{w_j} * \frac{w_j}{w_k} = \frac{w_i}{w_k}$$

É esta característica, que garante que todas as linhas são uma combinação linear da primeira, associada ao traço e ao posto de A que garantem que $\lambda_{\max} = n$ é o único autovalor da matriz.

Na realidade deseja-se encontrar o autovetor w associado ao autovalor máximo da matriz A , pois tem-se uma aproximação destes valores que é dada por a_{ij} e não pode-se mais garantir (VII.1), ou seja, a matriz $\tilde{A} = (a_{ij})$ não necessariamente possui posto 1, sendo assim pode ter mais de um autovalor não nulo o que acarreta $\lambda_{\max} \neq n$. Note que \tilde{A} é recíproca e $a_{ii} = 1$.

Diz-se que a matriz \tilde{A} é inconsistente e para sabermos o grau de inconsistência deve-se calcular o quão próximo λ_{\max} está de n .

5.1 Cálculo da Inconsistência

No caso ideal tem-se que $a_{ij} = w_i/w_j$ e a condição de consistência (VII.1) é respeitada. Como a_{ij} representa uma aproximação de w_i/w_j pode-se escrever $a_{ij} = \frac{w_i}{w_j} \varepsilon_{ij}$ e não há mais consistência.

De acordo com a equação

$$Aw = \lambda w$$

e com o fato de que no caso ideal $\lambda = n$, pode-se escrever

$$w_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n a_{ij} w_j \quad (\text{VII.2})$$

Ao utilizar-se as aproximações a_{ij} perturbou-se os valores desta equação. Se a perturbação for pequena, a_{ij} for próximo de w_i/w_j , há uma solução para (VII.2), w_i e w_j podem ser ajustados desde que acompanhados de uma variação em n .

Seja $n = \lambda_{\max}$ então,

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

$$\lambda_{\max} = \sum_{j=1}^n a_{ij} \frac{w_j}{w_i} \quad (\text{VII.3})$$

deseja-se que pequenos desvios em a_{ij} acarretem um pequeno desvio em λ_{\max} .

Primeiramente definiu-se

$$\mu \triangleq -\frac{1}{n-1} \sum_{i=2}^n \lambda_i \quad (\text{VII.4})$$

mas

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i = n$$

$$\Rightarrow n = \lambda_1 + \sum_{i=2}^n \lambda_i$$

$$\sum_{i=2}^n \lambda_i = n - \lambda_1 \quad (\text{VII.5})$$

fazendo-se $\lambda_1 = \lambda_{\max}$ e substituindo (VII.5) em (VII.4)

$$\mu = -\frac{1}{n-1} (n - \lambda_{\max})$$

$$\mu = \frac{\lambda_{\max} - n}{n-1} \quad (\text{VII.6})$$

De (VII.3) tem-se

$$\begin{aligned}
 \lambda_{\max} &= \sum_{j=1}^n a_{ij} \frac{w_j}{w_i} \\
 &= a_{ii} \frac{w_i}{w_i} + \sum_{\substack{j \\ j \neq i}} a_{ij} \frac{w_j}{w_i} \\
 &= 1 + \sum_{j \neq i} a_{ij} \frac{w_j}{w_i}
 \end{aligned}$$

portanto

$$\lambda_{\max} - 1 = \sum_{j \neq i} a_{ij} \frac{w_j}{w_i} \quad (\text{VII.7})$$

desenvolvendo (VII.7)

$$\begin{aligned}
 i = 1 \quad \lambda_{\max} - 1 &= a_{12} \frac{w_2}{w_1} + a_{13} \frac{w_3}{w_1} + \dots + a_{1n} \frac{w_n}{w_1} \\
 i = 2 \quad \lambda_{\max} - 1 &= a_{21} \frac{w_1}{w_2} + a_{23} \frac{w_3}{w_2} + \dots + a_{2n} \frac{w_n}{w_2} \\
 i = 3 \quad \lambda_{\max} - 1 &= a_{31} \frac{w_1}{w_3} + a_{32} \frac{w_2}{w_3} + \dots + a_{3n} \frac{w_n}{w_3} \\
 &\vdots \\
 &\vdots \\
 i = n \quad \lambda_{\max} - 1 &= a_{n1} \frac{w_1}{w_n} + a_{n2} \frac{w_2}{w_n} + \dots + a_{nn-1} \frac{w_{n-1}}{w_n}
 \end{aligned}$$

e somando as equações

$$n\lambda_{\max} - n = \sum_{i \neq j} a_{ij} \frac{w_j}{w_i} \quad (\text{VII.8})$$

Como A é uma matriz recíproca, para $i < j$ pode-se escrever que

$$\sum_{i < j} a_{ij} \frac{w_j}{w_i} = \sum_{i < j} a_{ji} \frac{w_i}{w_j}$$

e de (VII.8)

$$n \lambda_{\max} - n = \sum_{1 \leq i < j \leq n} \left(a_{ij} \frac{w_j}{w_i} + a_{ji} \frac{w_i}{w_j} \right) \quad (\text{VII.9})$$

substituindo (VII.9) em (VII.6)

$$\mu = \frac{1}{n-1} - \frac{n}{n-1} + \frac{1}{n(n-1)} \sum_{1 \leq i < j \leq n} \left(a_{ij} \frac{w_j}{w_i} + a_{ji} \frac{w_i}{w_j} \right) \quad (\text{VII.10})$$

fazendo-se $a_{ij} = \frac{w_i}{w_j} \varepsilon_{ij}$ tem-se que $a_{ij} \frac{w_j}{w_i} = \varepsilon_{ij}$ e $a_{ji} \frac{w_i}{w_j} = \frac{1}{\varepsilon_{ij}}$, substituindo em (VII.10)

$$\mu = -1 + \frac{1}{n(n-1)} \sum_{1 \leq i < j \leq n} \left(\varepsilon_{ij} + \frac{1}{\varepsilon_{ij}} \right) \quad (\text{VII.11})$$

Analisando a equação (VII.11) vê-se que se $\varepsilon_{ij} \rightarrow 1$, $\mu \rightarrow 0$. O valor de μ aumenta a medida que ε_{ij} se afasta de 1, logo se ε_{ij} for próximo de 1 $a_{ij} \rightarrow w_i/w_j$ causando pequenas modificações em λ_{\max} e conseqüentemente no autovetor associado.

A existência de λ_{\max} é garantida pelo teorema de Peron: Uma matriz A positiva tem sempre um autovalor real e positivo que é uma raiz do polinômio característico e é maior que o módulo de todos os outros autovalores da matriz. A este autovalor corresponde um autovetor de coordenadas positivas (Gantmacher, 1966).

5.2 Variação do Autovetor em Função da Inconsistência

A matriz A possui um autovalor real λ_m tal que

$$|\lambda_m| > |\lambda_i|, \quad \forall i \neq m \text{ e } i = 1, \dots, n$$

Sejam w_m e v_m os autovetores da direita e da esquerda, respectivamente, associado a λ_m .

Pelo Teorema do Círculo de Gershgorin¹ (Wilkinson, 1967) pode-se afirmar que para todo ε suficientemente pequeno

$$(A + \varepsilon E) w_m(\varepsilon) = \lambda_m(\varepsilon) w_m(\varepsilon) \quad (\text{VII.12})$$

$$v_m^t(\varepsilon) (A + \varepsilon E) = \lambda_m(\varepsilon) v_m^t(\varepsilon)$$

onde $\lambda_m(\varepsilon)$, $w_m(\varepsilon)$, e $v_m(\varepsilon)$ são diferenciáveis em ε .

Diferenciando (VII.12) em relação a ε

$$(A + \varepsilon E) \dot{w}_m(\varepsilon) + E w_m(\varepsilon) = \dot{\lambda}_m(\varepsilon) w_m(\varepsilon) + \lambda_m(\varepsilon) \dot{w}_m(\varepsilon)$$

fazendo $\varepsilon = 0$, $w_m(0) = w_m$ e $\lambda_m(0) = \lambda_m$ tem-se:

$$A \dot{w}_m(0) + E w_m = \dot{\lambda}_m w_m + \lambda_m \dot{w}_m \quad (\text{VII.13})$$

Seja w_i o autovetor associado ao autovalor λ_i de A , então ele forma uma base e pode-se escrever

$$\dot{w}_m(0) = \sum_{i=1}^n a_i w_i \quad (\text{VII.14})$$

substituindo (VII.14) em (VII.13)

$$A \left(\sum_{i=1}^n a_i w_i \right) + E w_m = \dot{\lambda}_m(0) w_m + \lambda_m \left(\sum_{i=1}^n a_i w_i \right)$$

$$\sum_{i=1}^n a_i A w_i + E w_m = \dot{\lambda}_m w(0)_m + \lambda_m \left(\sum_{i=1}^n a_i w_i \right)$$

$$\sum_{i=1}^n a_i \lambda_i w_i + E w_m = \dot{\lambda}_m(0) w_m + \sum_{i=1}^n a_i \lambda_m w_i$$

¹Este teorema afirma que todo autovalor da matriz A pertence a pelo menos um disco circular com centro a_{ii} e raio $\sum_{j \neq i} |a_{ij}|$. O que nos garante a existência da equação (VII.12) e que ela é diferenciável em ε .

$$\sum_{i=1}^n a_i (\lambda_i - \lambda_m) w_i + E w_m = \dot{\lambda}_m(0) w_m \quad (\text{VII.15})$$

pré-multiplicando (VII.15) por v_i^t

$$v_i^t \sum_{i=1}^n a_i (\lambda_i - \lambda_m) w_i + v_i^t E w_m = v_i^t \dot{\lambda}_m(0) w_m$$

$$\sum_{i=1}^n a_i (\lambda_i - \lambda_m) v_i^t w_m + v_i^t E w_m = \dot{\lambda}_m(0) v_i^t w_m \quad (\text{VII.16})$$

Como:

$$w_m^t A^t = \lambda_m w_m^t$$

pós-multiplicando por v_i

$$w_m^t A^t v_i = \lambda_m w_m^t v_i \quad (\text{VII.17})$$

e

$$A^t v_i = \lambda_i v_i$$

pré-multiplicando por w_m^t

$$w_m^t A^t v_i = w_m^t \lambda_i v_i$$

$$w_m^t A^t v_i = \lambda_i w_m^t v_i \quad (\text{VII.18})$$

subtraindo (VII.18) de (VII.17)

$$\lambda_m w_m^t v_i = \lambda_i w_m^t v_i$$

$$(\lambda_m - \lambda_i) w_m^t v_i = 0 \quad (\text{VII.19})$$

de (VII.19) vê-se que se $m \neq i$ então $w_m^t v_i = 0$, como $(w_m^t v_i)^t = v_i^t w_m$ tem-se que:

$$v_i^t w_m = 0, \quad m \neq i \quad (\text{VII.20})$$

aplicando (VII.20) em (VII.16)

$$a_i (\lambda_i - \lambda_m) v_i^t w_i + v_i^t E w_m = 0, \quad m \neq i$$

$$a_i = \frac{v_i^t E w_m}{(\lambda_i - \lambda_m) v_i^t w_i} \quad (\text{VII.21})$$

Escrevendo a expansão de Taylor para $w_m(\varepsilon)$

$$w_m(\varepsilon) = w_m + \varepsilon \dot{w}_m(0) + o(\varepsilon^2)$$

por (VII.14)

$$w_m(\varepsilon) = w_m + \varepsilon \sum_{i=1}^n a_i w_i + o(\varepsilon^2)$$

$$w_m(\varepsilon) = w_m + \varepsilon \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq m}}^n \frac{v_i^t E w_m}{(\lambda_m - \lambda_i) v_i^t w_i} w_i + o(\varepsilon^2) \quad (\text{VII.22})$$

De acordo com a equação (VII.22) o erro cometido no autovetor em função da perturbação cometida na matriz A depende do grau de separação dos autovalores da matriz, se λ_n estiver distante de qualquer outro autovetor e se nenhum dos $v_i^t w_i$ for pequeno, o erro cometido no autovetor é pequeno. Se os autovalores estiverem próximo nada pode ser garantido.

6. ERRO

6.1 Cálculo do Erro

O erro cometido em cada matriz é avaliado pelo grau de inconsistência da mesma. Para tanto definiu-se o Índice de Consistência (IC) que se refere ao erro cometido no autovalor, e é definido como:

$$IC = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$$

Como quanto maior a matriz, maior será a inconsistência, testou-se a inconsistência das matrizes de acordo com a ordem. Construíram-se amostras de tamanho 500, preenchidas aleatoriamente, utilizando-se a escala de 1-9 e a característica de reciprocidade, para matrizes de ordem 3 a 12 e definiu-se o Índice Randômico (IR) que é a média do IC calculado para cada matriz da amostra. A tabela VII.2 fornece os valores encontrados de acordo com a dimensão da matriz (Saaty, 1990).

$$IR = \text{média} \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (\text{VII.23})$$

n	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
IR	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51	1.48

TABELA VII. 2: ÍNDICE RANDÔNICO
 FONTE: SAATY (1990), THE ANALYTIC HIERARCHY PROCESS

Para calcular o erro compara-se o IC com o IR, desta forma pondera-se a dimensão da matriz de tal forma que se permite um maior erro para matrizes de maior dimensão ($n > 5$) e se é mais rigoroso para matrizes pequenas. Para tanto definiu-se a Razão de Consistência (RC) que é dada por:

$$RC = IC / IR \quad (\text{VII.24})$$

e considera-se o erro aceitável se $RC < 0.10$.

6.2 Correção de Valores

Caso RC seja alta há duas maneiras de melhorar a consistência da matriz e diminuir a margem de erro. A primeira consiste em rever os pesos atribuídos, discuti-los novamente em grupo e obter um novo consenso. A outra é feita através de cálculos matemáticos.

Deseja-se que a_{ij} se aproxime o máximo possível de w_i/w_j . Calcula-se então

$$\max_i \sum_{j=1}^n |a_{ij} - w_i/w_j| \quad (\text{VII.14})$$

e substitui-se todos os elementos da linha i , dado por (VII.14), por w_i/w_j ou apenas o $\max a_{ij}$. Recalcula-se o autovalor e autovetor.

Este procedimento é eficaz, entretanto não pode ser repetido inúmeras vezes pois corre-se o risco de levar a uma solução distorcida. Deve-se neste caso rediscutir o problema em grupo.

7. SOFTWARE

O metodologia desenvolvida divide-se em duas partes: a primeira trata da elaboração e modelagem do problema, que será discutida no capítulo seguinte, e a segunda da aplicação do MAH onde se calcula os autovalores e autovetores de cada matriz e os vetores prioridades utilizando o *software* desenvolvido.

O *software* desenvolvido atua de uma forma iterativa com o usuário, este é requisitado a efetuar algumas opções. O programa contém seis procedimentos.

- **Leitura e Processamento de Dados:** são necessários dois arquivos para a execução do programa: arquivo da hierarquia, indica-se o número de níveis da hierarquia e o número de nós de cada nível, para cada nó os arcos direcionadas associados ao nível inferior; arquivo de ponderações, contém os pesos atribuídos a cada matriz da hierarquia, necessita-se somente da diagonal superior. A entrada de dados pode ser efetuada via leitura de arquivos ou entrada dos dados pelo teclado.

- **Cálculo dos Autovalores e Autovetores Associados:** para cada matriz da hierarquia calcula o maior autovalor e o autovetor associado pelo Método das Potências (Carnahan et alli, 1969)
- **Cálculo do Erro:** calcula o erro associado a cada matriz (equação VIII.13) e caso ele não seja aceitável, o usuário deve optar se é desejável ou não, efetuar as correções. Fornece o número de correções já efetuadas na matriz e o máximo erro cometido; o elemento em questão e o valor em módulo.
- **Correção de Valores:** efetua a correção de valores de acordo com a equação VIII.14. Neste ponto o usuário deve escolher se deseja alterar somente o valor do elemento correspondente ao maior erro ou toda a linha.
- **Cálculo dos Vetores prioridades:** este procedimento calcula as vetores prioridades a partir do nível n-2 até o primeiro, resultado do problema.
- **Impressão:** pode-se optar por impressão somente na tela ou também na impressora. O programa fornece para cada nó: as matrizes de ponderações, o máximo autovalor e o autovetor associado, o erro cometido, as matrizes utilizadas no cálculo dos vetores prioridades e estes vetores. Apresenta também o resultado final onde lista as alternativas e as prioridades associadas.

Além deste procedimentos deve-se indicar se a hierarquia é incompleta ou não, uma vez que implica em diferentes procedimentos computacionias.

7.1 Fluxograma

O fluxograma foi dividido em três partes. A primeira trata da elaboração e modelagem do problema, a segunda calcula o autovalor e autovetor de cada matriz da hierarquia, e a terceiro os vetores prioridades.

Utilizou-se a seguinte notação:

h : número de níveis na hierarquia

L_k : nível K

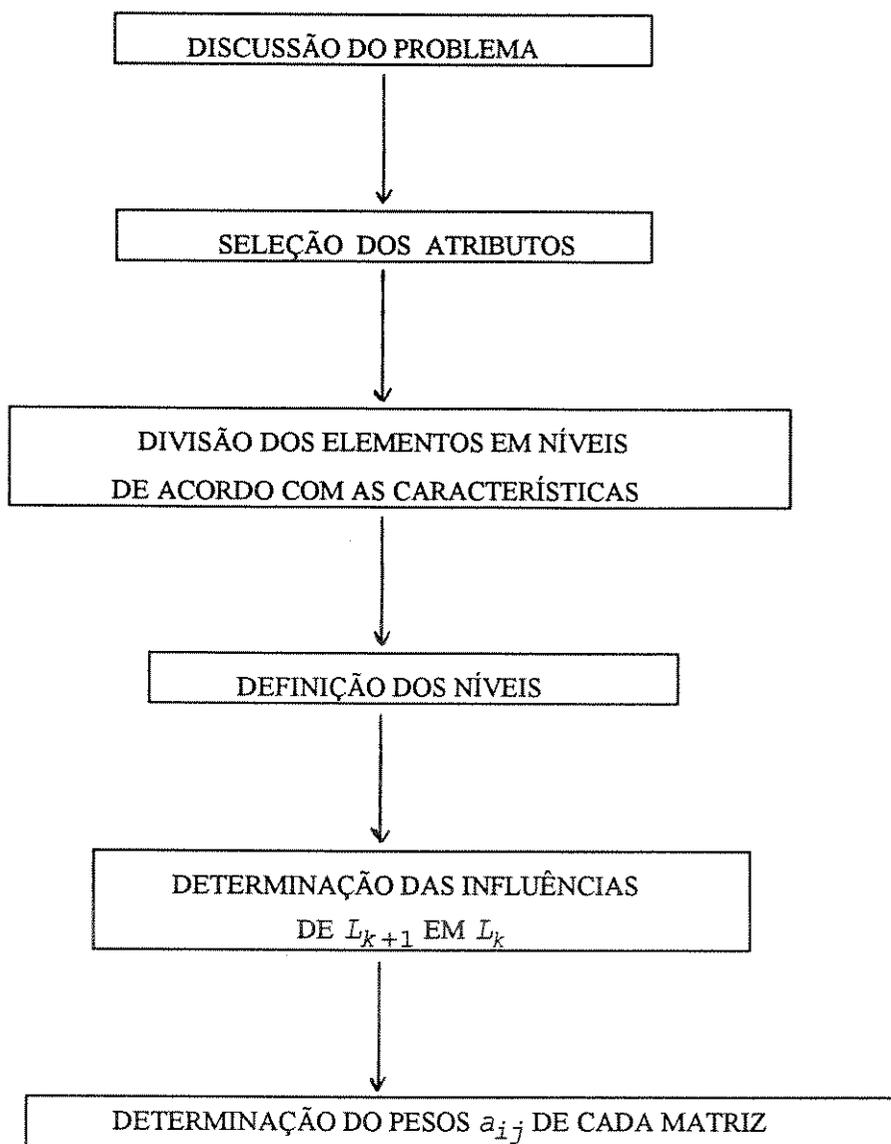
m_k : dimensão do nível k

λ_{max} : maior autovalor de uma matriz

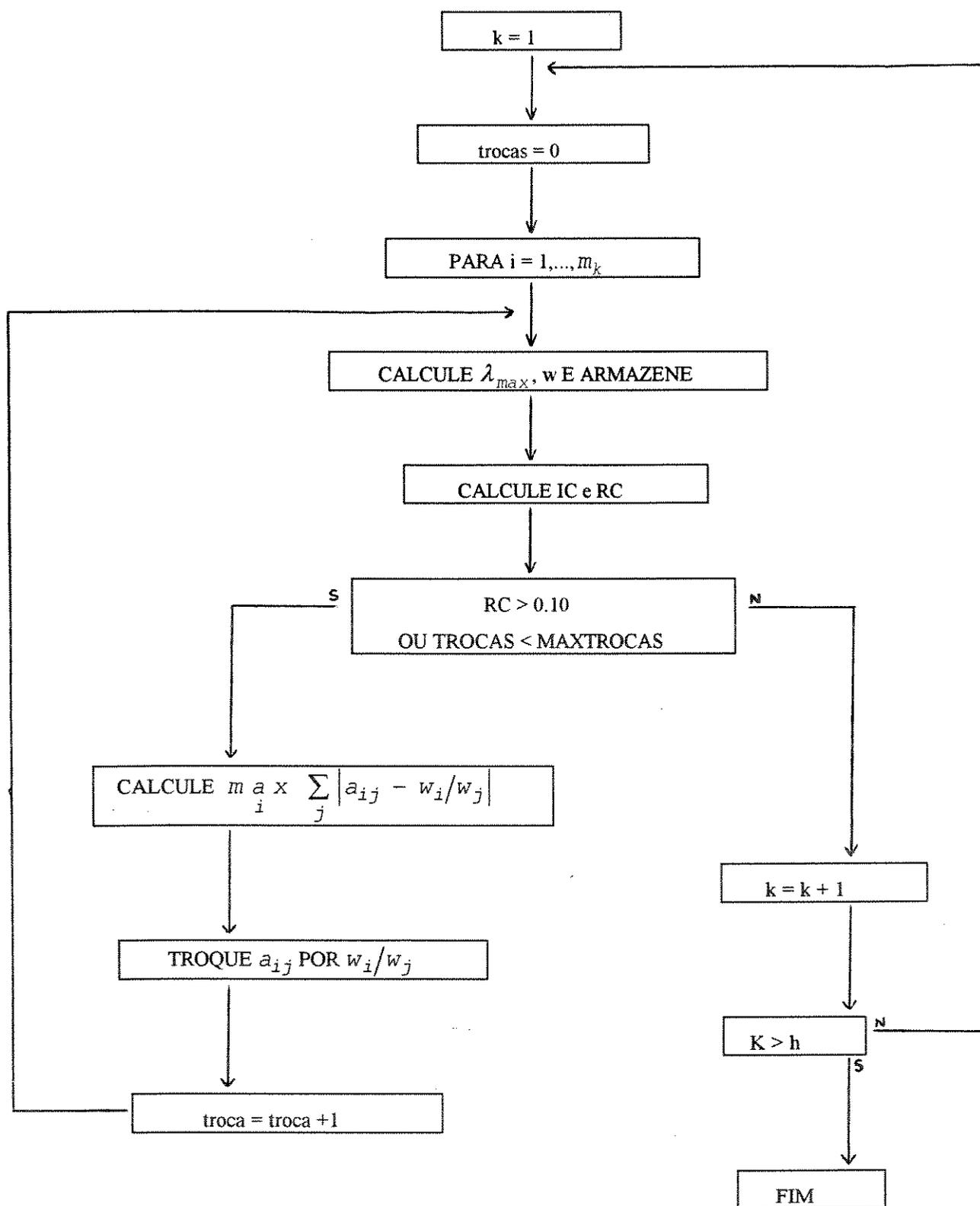
$w_{k,i}$: autovetor associado à λ_{max} do nó i do nível k

$V_{k,i}$: vetor hierarquizado do nó i do nível k

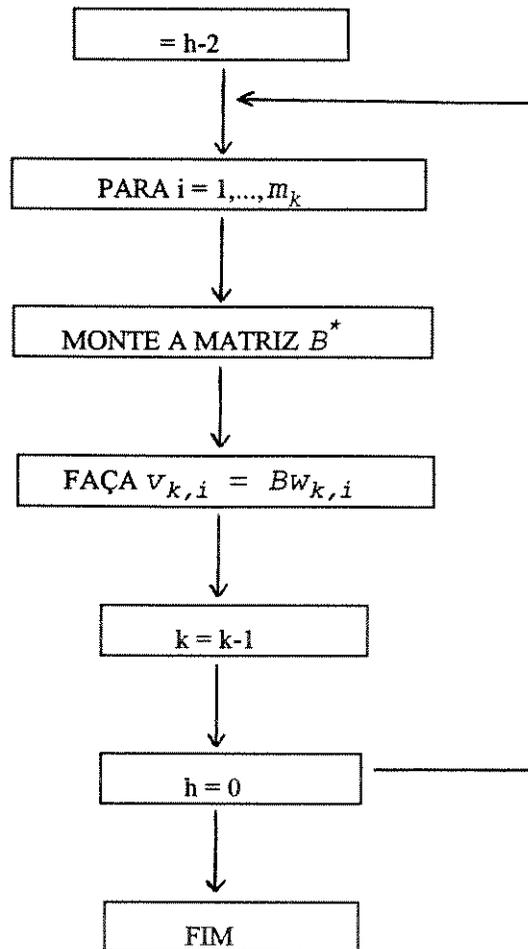
$max\ trocas$: máximo de substituições em cada matriz



FLUXOGRAMA 1: MODELAGEM DO PROBLEMA



FLUXOGRAMA 2: CALCULO DOS AUTOVALORES E AUTOVETORES DE CADA MATRIZ



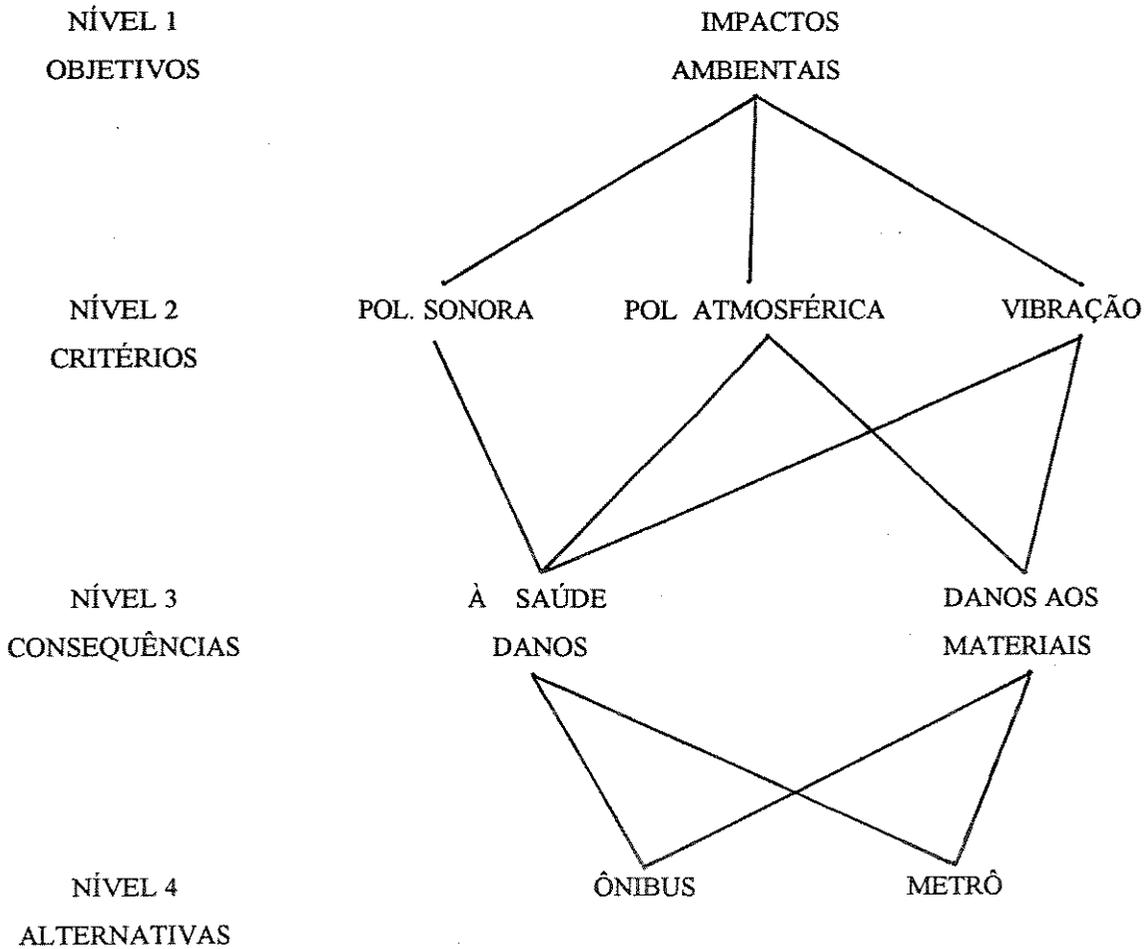
FLUXOGRAMA 3: CÁLCULO DAS PRIORIDADES

(*) a matriz B é elaborada de tal forma que suas colunas são os autovetores dos elementos de L_{k+1} que possuem um arco associado ao nó i de L_k .

8. EXEMPLO

O exemplo abaixo refere-se à hierarquia da figura VII.1.

8.1 Hierarquia



8.2 Matrizes de Comparações Paritárias e Avaliações

O nível 4 não apresenta matrizes de comparações. Assim iniciou-se pelo nível 3

Nível 3: Consequências

Todos os elementos do nível 3 possuem um arco direcionado a todos os elementos do nível 4. Deste modo, todas as matrizes têm a mesma dimensão (2x2).

Nó 1: Danos à Saúde

DANOS À SAÚDE	ÔNIBUS	METRÔ
ÔNIBUS	1	5
METRÔ	1/5	1

Autovalor: $\lambda_{max} = 2.00$ Autovetor: $w_{31}^t = (0.833 \quad 0.167)$
 IC = 0 RC = 0

Considerou-se que os danos à saúde causados pelo ônibus são muito maiores que em relação ao metrô. Assim atribuiu-se o valor 5 à a_{12} e 1/5 à a_{21} , a diagonal principal é 1.

Nó 2: Danos aos materiais.

DANOS AOS MATERIAIS	ÔNIBUS	METRÔ
ÔNIBUS	1	2
METRÔ	1/2	1

Autovalor: $\lambda_{max} = 2.00$ Autovetor: $w_{32}^t = (0.667 \quad 0.333)$
 IC = 0 RC = 0

Considerou-se que nenhum dos dois causa um grande dano aos materiais, mas que o dano em relação ao ônibus é um pouco maior. Assim a_{12} será 2, e $a_{21} = 1/2$

Nível 2: Critérios

Neste nível nem todas as matrizes são iguais, pois trata-se de uma hierarquia semi-completa.

Nó 1: Poluição Sonora

P. SONORA	DANOS À SAÚDE
DANOS À SAÚDE	1

$$\text{Autovalor: } \lambda_{max} = 1.00 \quad \text{Autovetor: } w_{21}^t = (1.00)$$

$$\text{IC} = 0 \quad \text{RC} = 0$$

Nesta matriz não há relação de dominância pois compara-se um elemento com ele mesmo. O único valor possível é 1.

Nó 2: Poluição Atmosférica

P. ATMOSFERICA	SAÚDE	MATERIAIS
SAÚDE	1	7
MATERIAIS	1/7	1

$$\text{Autovalor: } \lambda_{max} = 2.00 \quad \text{Autovetor: } w_{22}^t = (0.875 \quad 0.125)$$

$$\text{IC} = 0 \quad \text{RC} = 0$$

Os danos provocados à saúde pela poluição atmosférica são muito mais graves e mais intensos que sobre os materiais. Definiu-se que a relação saúde/materiais é igual a 7

Nó 3: Vibração

VIBRAÇÃO	SAÚDE	MATERIAIS
SAÚDE	1	1/3
MATERIAIS	3	1

$$\text{Autovalor: } \lambda_{max} = 2.00 \quad \text{Autovetor: } w_{23}^t = (0.250 \quad 0.750)$$

$$\text{IC} = 0 \quad \text{RC} = 0$$

A vibração causa poucos efeitos na saúde humana mas pode danificar materiais; entretanto, também, não é um efeito muito intenso. Assim determinou-se que a relação material/saúde é 3.

Nível 1: Impactos Ambientais

O nível 1 é constituído de um único nó, pois ele fornece o objetivo que é minimizar os impactos ambientais. Possui 3 arcos direcionados.

I. AMBIENTAIS	POL. SONORA	POL. ATMOSF.	VIBRAÇÃO
POL. SONORA	1	1/4	3
POL. ATMOSF.	4	1	5
VIBRAÇÃO	1/3	1/5	1

Autovalor: $\lambda_{max} = 3.04$ Autovetor: $w_{11}^t = (0.231 \ 0.665 \ 0.104)$
 IC = 0.018 RC = 0.031

8.3 Cálculo da Hierarquia

O cálculo da hierarquia envolve todos os níveis. O cálculo inicia-se no nível $n-2$ e consiste em determinar as matrizes B_{ij} e os vetores prioridades v_{ij} .

Nível 3

$v = w$ para todos os nós

assim $v_{31}^t = (0.833 \ 0.167)$
 $v_{32}^t = (0.667 \ 0.333)$

Nível 2

Nó1

O elemento poluição sonora possui somente um arco direcionado que se refere aos danos à saúde. A matriz B tem apenas uma coluna, v_{31} .

Como $v = B * w$

então $v_{21} = B_{21} * w_{21}$

e

$$B_{21} = [v_{31}]$$

ou seja

$$v_{21} = \begin{bmatrix} 0.833 \\ 0.167 \end{bmatrix} * (1.00)$$

$$v_{21}^t = (0.833 \quad 0.167)$$

Nó 2

O nó 2 possui dois arcos direcionados: aos danos à saúde e aos materiais. Assim:

$$B_{22} = [v_{31} \quad v_{32}]$$

$$v_{22} = B_{22} * w_{22}$$

$$v_{22} = \begin{bmatrix} 0.833 & 0.667 \\ 0.167 & 0.333 \end{bmatrix} * \begin{pmatrix} 0.875 \\ 0.125 \end{pmatrix}$$

$$v_{22}^t = (0.813 \quad 0.188)$$

Nó 3

Analogamente

$$B_{23} = [v_{31} \quad v_{32}]$$

$$v_{23} = \begin{bmatrix} 0.833 & 0.667 \\ 0.167 & 0.333 \end{bmatrix} * \begin{pmatrix} 0.250 \\ 0.750 \end{pmatrix}$$

$$v_{23}^t = (0.708 \quad 0.292)$$

Nível 1

Existe apenas um nó que possui arcos direcionados a todos os elementos do nível 2.

Portanto:

$$B_{11} = [v_{21} \quad v_{22} \quad v_{23}]$$

$$v_{11} = \begin{bmatrix} 0.833 & 0.813 & 0.708 \\ 0.167 & 0.188 & 0.292 \end{bmatrix} * \begin{pmatrix} 0.231 \\ 0.665 \\ 0.104 \end{pmatrix}$$

$$v_{11}^t = (0.806 \quad 0.194)$$

que é a solução da hierarquia: o impacto ambiental do ônibus é aproximadamente 4 vezes maior que o do metrô.

VIII. APLICAÇÃO DA METODOLOGIA PROPOSTA

Neste item efetuou-se uma avaliação de impactos, referentes a duas alternativas de um sistema de transporte, utilizando a metodologia proposta.

O objetivo do estudo é avaliar comparativamente impactos decorrentes da implantação de diferentes alternativas de transporte relacionando as características intrínsecas de cada modo, da estrutura urbana, do uso e ocupação do solo, dos impactos ambientais e suas consequências sobre a população. Por serem considerados fatores importantes no processo de tomada de decisão, também foram avaliados os custos de implantação, população atingida e passageiros transportados. Não é nosso objetivo quantificar os valores isoladamente, nem obter a solução ótima, mas apenas efetuar julgamentos comparativos a fim de auxiliar no processo de tomada de decisão.

Por não ser objetivo deste trabalho um levantamento de dados específico e discussão com todos os agentes envolvidos no processo, utilizou-se os dados do Estudo de Viabilidade Técnico-Econômico-Financeira da Terceira Linha do Metrô - SP (1980), informações contidas capítulos anteriores e da bibliografia consultada.

1. OBJETIVO DO PLANEJAMENTO

O estudo desenvolvido analisou os impactos decorrentes da implantação de uma nova linha de metrô em São Paulo.

O processo de planejamento e de tomada de decisão baseia-se no modelo organizacional e se busca o consenso entre todos os agentes envolvidos. Possui uma abordagem informativa e ações do tipo preventivas, ou seja, não se desejou corrigir ou atenuar problemas do atual sistema de transporte, mas melhorá-lo e utilizá-lo como indutor urbano. Sendo assim desejou-se obter o máximo de informações.

A implantação da terceira linha tem por objetivos:

- ampliar o sistema de transporte de alta capacidade;
- melhorar a acessibilidade da RMSP;
- ordenar o crescimento urbano, (não enfatizar o padrão radio-concêntrico da cidade);
- preencher os vazios urbanos e promover um adensamento em áreas não saturadas;
- melhorar a qualidade de vida da população.

2. ALTERNATIVAS AVALIADAS

Foram analisadas duas alternativas de traçado: Alternativa A e Alternativa B.

Alternativa A

A Alternativa A originalmente se estenderia das Clínicas à Oratório, cortando os bairros Cerqueira César, Aclimação, Vila Mariana, Saúde, Ipiranga e Vila Prudente, mais tarde foi ampliada até a Vila Madalena. Teria 15,6 Km de extensão, 13 estações, e um custo previsto de 2,6 bilhões de cruzeiros por km totalizando 40.660 milhões de cruzeiros (valores de janeiro de 1980). Estimou-se que quando a linha estivesse totalmente implantada (1990) ela transportaria 750 mil passageiros por dia.

Alternativa B

A alternativa B ligaria o Bairro de Três Poderes ao Parque Pedro II, passando pelo Butantã, Pinheiros, Cerqueira César, Consolação, Luz e Brás. Com 13,3 Km de extensão, 14 estações e um custo previsto de 3,6 bilhões de cruzeiros por Km totalizando 48.089 milhões. Em 1990 transportaria 940 mil passageiros por dia.

3. PROCESSO DE AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS

O processo de avaliação foi baseado no MAH.

O primeiro objetivo, ampliar o sistema de transporte de alta capacidade, não foi avaliado por já estar implícito na decisão de implantação de uma nova linha de metrô.

Os estudos apresentados a seguir foram baseados em algumas considerações e pressupostos:

- todas as etapas necessárias ao planejamento de transporte e a tomada de decisão, que antecedem a seleção da alternativa foram executadas;
- as hierarquias analisaram os impactos e suas consequências a curto e médio prazo na fase posterior à obra e com o sistema em operação;
- não se considerou nenhuma medida amenizadora dos impactos negativos;
- não foi feita nenhuma distinção entre os impactos locais, regionais ou mesmo de maior amplitude. Estas diferenças estão implícitas na modelagem;
- apesar de depender da situação considerou-se que o aumento no valor do solo é consequência da alteração no uso que gera uma maior demanda elevando o preço;
- acessibilidade refere-se à facilidade ou dificuldade de se deslocar de um local para outro e envolve o acesso aos meios de transporte, o custo e o tempo de deslocamento, etc...; mobilidade é somente a condição física de se atingir um local, facilidade de acesso aos modos de transporte, de deslocar-se a pé ou cruzar uma rua.

3.1 Impactos

Os impactos relativos à implantação de um sistema de transporte são inúmeros e muitas vezes de difícil percepção. Selecionou-se um conjunto de impactos considerados relevantes e que de certo modo agregam outros não citados explicitamente. Os impactos selecionados não se restringe às alternativas em questão. Podem ser utilizados para outros estudos, como comparações de diferentes alternativas tecnológicas .

Para uma maior compreensão e devido às relações de causa e efeito, os impactos foram divididos e hierarquizados em:

1. Categorias

- sócio-espaciais
- operacionais

2. Tipos

Sócio-Espaciais

- econômicos
- configuração urbana
- ambientais
- sociais

Operacionais

- desempenho
- eficácia
- alternativa tecnológica
- modo de operação

3. Impactos Primários

- variação no uso do solo
- número de desapropriações
- acessibilidade
- poluição atmosférica
- poluição sonora
- vibração
- intrusão visual
- segregação urbana
- configuração espacial
- volume e composição do tráfego
- conforto
- confiabilidade
- integração modal

4. Impactos Secundários

- variação no valor do solo
- geração de empregos
- perda da identidade física e cultural
- ruptura do comércio local
- danos à saúde humana
- insegurança devido à acidentes e atropelamentos
- danos à fauna, flora e ao ecossistema
- danos ao patrimônio físico e cultural
- adensamento urbano
- perda de mobilidade da população local

- aumento da mobilidade
- tempo de deslocamento
- custo do deslocamento

4. MODELAGEM DO PROBLEMA

A modelagem do problema consiste na definição da(s) hierarquia(s) e dos impactos e parâmetros que serão analisados.

4.1 Definição das Hierarquias

A análise das alternativas envolveu três estudos.

O primeiro analisou os impactos das duas alternativas. Como os impactos podem ser positivos ou negativos elaborou-se duas hierarquias distintas. Este recurso deveu-se à dificuldade de se ponderar elementos diametralmente opostos. Como ponderar o "bom" em relação ao "ruim"?

O segundo estudo deveu-se ao fato de não se saber a amplitude de cada impacto em relação a cada alternativa ao final do processo. Ao ponderar-se os elementos das hierarquias no primeiro caso avaliaram-se os impactos comparativamente.

Ao analisar-se os impactos positivos e negativos nota-se que a alternativa A possui um forte impacto negativo, mas também apresenta maior impacto positivo, como será visto em 5.1. Com a finalidade de localizar os impactos negativos de maior amplitude e assim avaliar o grau de importância e a possibilidade de amenizar problemas, avaliaram-se os impactos negativos para a alternativa A.

O processo de decisão não pode ser baseado somente nos impactos decorrentes de cada alternativa. Efetuou-se, então, o terceiro estudo que pondera: a população atingida e transportada, o custo de implantação, os impactos positivos e negativos, e a influência na configuração espacial da cidade.

4.2 Seleção dos Impactos

A hierarquia de impactos baseia-se na classificação dada em 3.1 porém deve ser elaborada e adaptada a cada estudo pois depende das características, objetivos e finalidades do planejamento. Nem todos os impactos devem ser considerados ou pode haver a necessidade da inclusão de outros não mencionados. O presente estudo não considerou os seguintes impactos citados:

- Em relação aos impactos operacionais não foram considerados os impactos em relação ao desempenho e alternativas tecnológicas e conseqüentemente conforto, confiabilidade, volume e composição do tráfego, etc.... Como avaliou-se a implantação de uma linha de metrô caso houvesse alguma diferença entre as alternativas em estudo, elas seriam muito pequenas e podem ser deprezadas. Também constatou-se que os impactos operacionais são todos positivos.
- Observou-se que os impactos ambientais são todos negativos. Não se considerou os danos à flora e à fauna devido a escassez dos mesmos na região em estudo; não se considerou também a poluição atmosférica pelo fato do impacto do metrô nesta categoria ser pequeno, salvo em condições ou locais particulares.

5. ELABORAÇÃO E AVALIAÇÃO DAS HIERARQUIAS

Foram elaboradas e avaliadas as hierarquias dos três estudos definidos acima.

Vale ressaltar que os parâmetros abaixo são uma suposição. A avaliação, de alguns atributos, baseou-se em dados publicados que não fornecem todas as informações necessárias. Pode-se citar entre dados importantes, por exemplo, no uso do solo presença de hospitais, escolas, locais de equipamentos de alta precisão, monumentos históricos, etc... pois a amplitude de certos impactos aumenta consideravelmente sob certas condições.

Estes dados foram utilizados em mais de uma hierarquia e são necessários à análise de diferentes nós. Para não tornar o estudo repetitivo aqueles considerados importantes, foram descritos no início do processo de avaliação na tabela VIII.1.

Efetou-se, também, uma análise do uso e ocupação do solo atual e as estimativas futuras para um horizonte de 10 anos. Constatou-se que há muitas regiões com

habitações de classe média e média baixa, caracterizadas por sobrados e um expressivo comércio local. Estas regiões já apresentam uma tendência de expansão vertical, voltada para a classe média e média alta e aos setores de serviços e comércio, que será acentuada com a implantação de uma linha de metrô. Verificou-se que estas transformações serão maiores com a implantação da alternativa A.

	ALTER NATIVA A	ALTERNATIVA B
CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO (Cr\$ milhões /1980)	40.660	48.089
POPULAÇÃO ATINGIDA (habitantes)	1.493.000	536.000
PASSAGEIROS TRANSPORTADOS (mil passageiros)	750	940
EXTENSÃO NÃO SUBTERRÂNEA (metros)	5.200	2.159
NUM. ESTAÇÕES NÃO SUBTERRÂNEAS (unidades)	5	2
NÚMERO DESAPROPRIAÇÕES (unidades)	730	500
VALORIZAÇÃO IMOBILIARIA (Cr\$ milhões)	16.710	16.380
INCREMENTE DE TERRENOS OCUPADOS (%)	8	7,5
INCREMENTE DA ÁREA CONSTRUÍDA (%)	33,6	2,3
REDUÇÃO TEMPO DESLOCAMENTO (milhões/hora)	121	84
INTEGRAÇÃO MODAL (mil pass. ano)	226.092	265.679
GERAÇÃO DE EMPREGOS (mil empregos)	26	33

TABELA VIII.1: ESTIMATIVA DE IMPACTOS RELATIVOS ÀS ALTERNATIVAS
 FONTE: METRO -SP (1980), ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICO-ECONÔMICO-FINANCEIRA DA TERCEIRA
 LINHA DE METRÔ - SP

5.1 Estudo dos Impactos Positivos e Negativos

5.1.1 Hierarquia

As hierarquias de impactos, positivos e negativos, apresentam cinco níveis:

Nível 1: Impactos Positivos ou Impactos Negativos

Nível 2: Categorias de Impactos

Nível 3: Tipos de Impactos

Nível 4: Impactos Primários

Nível 5: Impactos Secundários

Nível 6: Alternativas

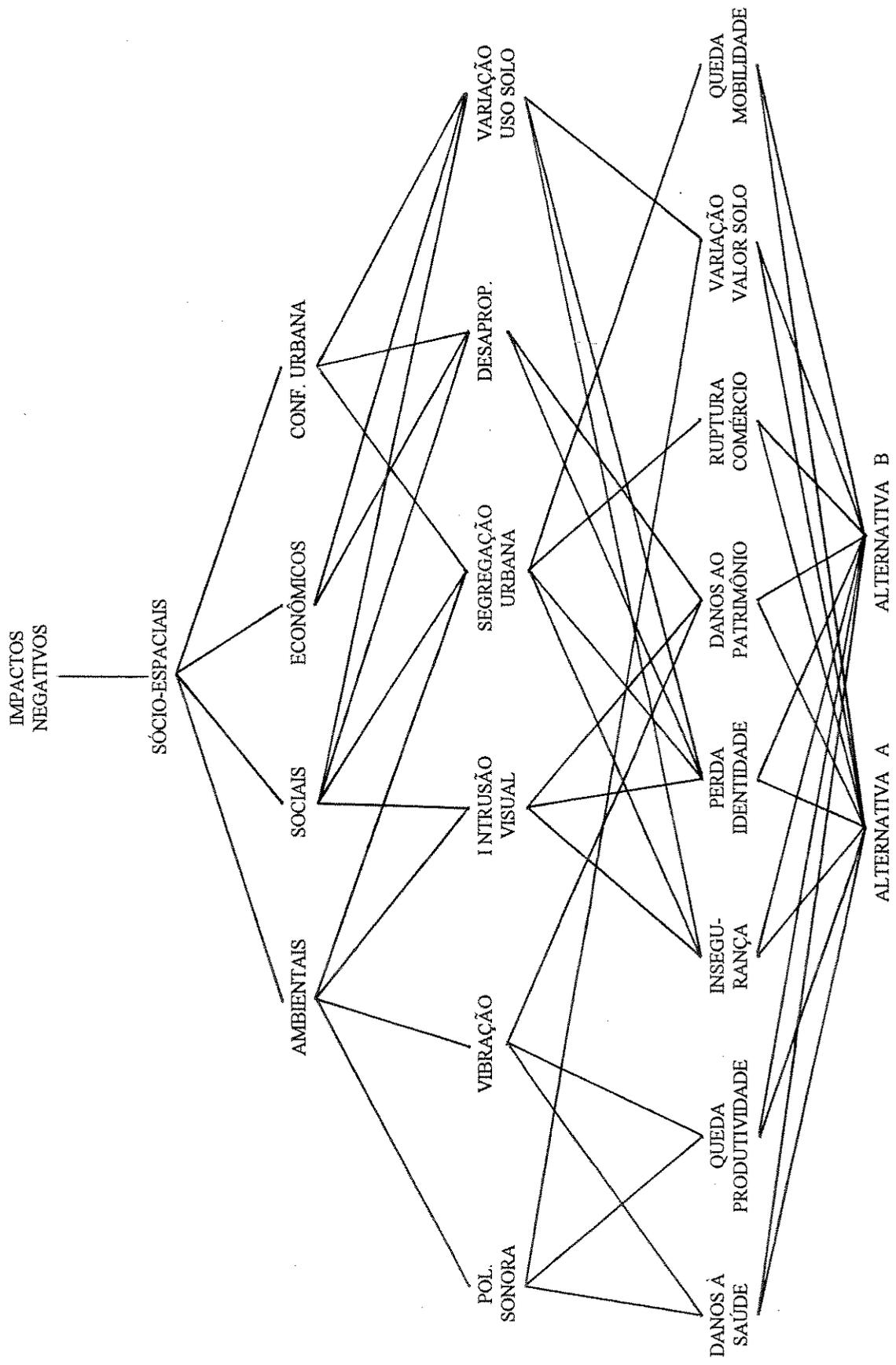
As figuras VIII.1 e VIII.2 mostram as hierarquias, os impactos considerados e os respectivos arcos direcionados.

5.1.2 Ponderação das matrizes

Na atribuição de pesos deve-se analisar o quão maior é a colaboração de um elemento em relação ao "objetivo" que está sendo avaliado. Por ser esta questão muito ampla, e os elementos possuírem características distintas, detalhou-se à medida que se avaliou cada nível ou matriz.

Com o intuito de facilitar a avaliação e a compreensão definiu-se uma ordem de importância entre os atributos e utilizou-se a seguinte convenção:

- $a = b$: não há relação de dominância, ambos tem mesma importância
- $a > b$: a contribuição de a é maior que b
- $a \gg b$: a contribuição de a é muito maior que b
- $a \gg\gg b$: importância absoluta de a em relação a b



FIGURAVIII.1: HIERARQUIA DE IMPACTOS NEGATIVOS

Hierarquia de Impactos Negativos

Nível 1

O nível um é constituído de um nó com apenas um arco direcionado, logo só há um elemento em julgamento e não há nada a ser ponderado. A razão será 1.

Nó 1: Impactos Negativos

IMPACTOS NEG	SÓCIO-ESPACIAIS
SÓCIO-ESPACIAIS	1

Nível 2

Neste nível deseja-se saber o quanto um tipo de impacto influencia mais que outro em relação à categoria sócio-espacial. Há um único nó que possui quatro arcos direcionados.

Na verdade esta questão não possui uma única resposta, mais do que as outras análises depende da visão de quem está analisando e para qual tipo de impacto sua preocupação está voltada.

Nó 1: Impactos Sócio-Espaciais

Fez-se uma análise onde prevalece o social e o ambiental. Desta forma considerou-se o impacto ambiental mais importante que o social, que por sua vez prevaleceu sobre a configuração urbana, o econômico foi o menos importante. Entretanto considerou-se que todos eles são importantes, nenhum pode ser muito priorizado em relação a outro.

Definiu-se a seguinte relação de importância:

ambiental > social > configuração urbana > econômico

SÓCIO-ESPACIAIS	AMBIENTAIS	SOCIAIS	ECONÔMICOS	CONF. URBANA
AMBIENTAIS	1	3	6	5
SOCIAIS	1/3	1	5	4
ECONÔMICOS	1/6	1/5	1	1/4
CONF. URBANA	1/5	1/4	4	1

Nível 3

Neste nível deseja-se saber qual a relação de contribuição relativa, dos elementos, nos impactos avaliados.

Nó 1: Ambientais

De acordo com o capítulo V a poluição sonora é um grave problema ao meio ambiente, enquanto que a vibração não causa grandes danos, a menos de determinadas condições. Pode-se dizer que sua contribuição é muito baixa, e qualquer dos outros itens a domina. A segregação urbana e a intrusão visual afetam consideravelmente o meio ambiente mas possuem um forte caráter social, principalmente a primeira.

Pode-se estimar a seguinte relação de importância:

poluição sonora > segregação urbana > intrusão visual >> vibração

AMBIENTAIS	POL. SONORA	VIBRAÇÃO	INTR. VISUAL	SEG. URBANA
POL. SONORA	1	8	5	4
VIBRAÇÃO	1/8	1	1/3	1/4
INTR. VISUAL	1/5	3	1	1/2
SEG. URBANA	1/4	4	2	1

Nó 2: Sociais

Considerou-se a desapropriação um grande problema social por tudo o que ela acarreta, seguida da segregação urbana fonte de muitos acidentes. A intrusão visual é importante por descaracterizar uma região juntamente com uso do solo sendo o último mais significativo por implicar numa maior deteriorização da qualidade de vida. Nota-se que todos são importantes.

Relação estabelecida:

desapropriação > segregação urbana > uso do solo > intrusão visual

SOCIAIS	INTR. VISUAL	SEG.. URABANA	DESAPROP.	USO DO SOLO
INTR. VISUAL	1	1/4	1/5	1/2
SEG.. URBANA	4	1	1/3	3
DESAPROP.	5	3	1	4
USO DO SOLO	2	1/3	1/4	1

Nó 3: Económicos

O uso do solo em si não traz grandes impactos económicos, eles ocorrem através da valorização do solo. A desapropriação além do custo do imóvel ao governo normalmente acarreta numa queda no padrão de moradia e de vida do antigo proprietário. Sendo assim considerou-se que:

desapropriação >> uso do solo

ECONÓMICO	DESAPROP.	USO DO SOLO
DESAPROP.	1	6
USO DO SOLO	1/6	1

Nó 4: Configuração Urbana

A alteração no uso do solo repercute diretamente na organização sócio-espacial da cidade sendo sua influência muito significativa. A segregação urbana e as desapropriações são mais localizadas possuindo uma menor amplitude, principalmente a desapropriação que atua numa faixa de solo bem determinada. Então:

uso do solo >> segregação urbana > desapropriação

CONF. URBANA	SEG. URBANA	DESAPROP.	USO DO SOLO
SEG. URBANA	1	4	1/5
DESAPROP.	1/4	1	1/6
USO DO SOLO	5	6	1

Nível 4

Ao analisar este nível desejou-se saber a relação de nocividade dos impactos secundários em relação aos primários. O quanto um é mais grave que o outro.

Nó 1: Poluição Sonora

A poluição sonora tem principalmente efeitos psicológicos sendo também expressiva a queda de produtividade. Problemas físicos são causados só em níveis muito altos, pouco comuns no meio urbano. A queda do valor do solo pode ocorrer mas são efeitos muito localizados. Assim determinou-se que:

danos à saúde > queda produtividade >> alterações no valor do solo

POL. SONORA	DANOS SAÚDE	QUEDA PROD.	VALOR SOLO
DANOS SAÚDE	1	4	6
QUEDA PROD.	1/4	1	5
VALOR SOLO	1/6	1/5	1

Nó 2: Vibração

Salvo no que se refere aos danos em edificações, normalmente já com algum problema, o efeito da vibração não é grave. No homem ela é mais sentida através de uma sensação de mal estar ou gerando uma queda da produtividade, mas estes eventos são poucos e delimitados. Então:

danos patrimônio > danos à saúde > queda da produtividade

VIBRAÇÃO	DANOS SAÚDE	QUEDA PROD.	DANOS PATR.
DANOS SAÚDE	1	3	1/3
QUEDA PROD.	1/3	1	1/4
DANOS PATR.	3	4	1

Nó 3: Intrusão Visual

A intrusão visual tem grande responsabilidade na descaracterização de uma região, levando sobretudo a perda da identidade dos indivíduos da comunidade. Caso atinja prédios históricos ou significativos à população, danifica o patrimônio histórico e cultural. Pode também, em menor escala, obstruir a visão ou as placas de sinalização aumentando o risco de acidentes.

perda identidade > danos ao patrimônio > insegurança

INTR. VISUAL	INSEGURANÇA	PERDA IDENT.	DANOS PATR.
INSEGURANÇA	1	1/5	1/3
PERDA IDENT.	5	1	4
DANOS PATR.	3	1/4	1

Nó 4: Segregação Urbana

A segregação urbana provoca uma grande queda de mobilidade dos habitante locais e da perda de segurança, sendo o segundo fator mais expressivo. Ocasiona também em

menor escala a perda de identidade da população local, seguido de uma ruptura do comércio local.

insegurança > queda mobilidade > perda da identidade > ruptura do comércio local

SEG. URBANA	INSEGURANÇA	PERDA IDENT.	RUP. COMÉRCIO	QUEDA MOB.
INSEGURANÇA	1	5	6	4
PERDA IDENT.	1/5	1	4	1/3
RUP. COMÉRCIO	1/6	1/4	1	1/4
QUEDA MOB.	1/4	3	4	1

Nó 5: Desapropriações

A perda da identidade é muito maior na população afetada pela desapropriação, que muitas vezes deixa sua comunidade, do que no que se refere aos danos ao patrimônio, sendo considerável nos imóveis de caráter histórico, muitas vezes tombados, ou ao alterar a forma e tamanho de uma propriedade.

perda identidade >> danos ao patrimônio

DESAPROP.	PERDA IDENT.	DANOS PATR.
PERDA IDENT.	1	5
DANOS PATR.	1/5	1

Nó 6: Variação no Uso do Solo

O maior impacto de alterações no uso do solo se dá na alteração do mercado imobiliário, seguido mais uma vez de descaracterização da região e causando problemas de segurança provenientes do aumento de tráfego.

valor solo > perda identidade > insegurança

USO DO SOLO	INSEGURANÇA	PERDA IDENT.	VALOR SOLO
INSEGURANÇA	1	1/3	1/5
PERDA IDENT.	3	1	1/4
VALOR SOLO	5	4	1

Nível 5

Neste nível analisou-se o impacto de cada alternativa em relação aos impactos secundários. Qual das alternativas causa um maior impacto?

Nó 1: Danos à Saúde

Os elementos responsáveis por danos à saúde são sobretudo a poluição atmosférica e sonora, esta em menor grau, a segregação urbana e intrusão visual tem, principalmente, consequências psicológicas. O metrô é uma fonte de poluição sonora apenas quando for de superfície ou em elevado. Ambas as alternativas possuem uma parte do trajeto em elevado, mas uma vez que o trecho aéreo da alternativa A é um pouco maior, esta causa maior dano à saúde

Alternativa A > Alternativa B

DANOS SAÚDE	ALTER. A	ALTER. B
ALTER. A	1	3
ALTER. B	1/3	1

Nó 2: Queda da Produtividade

A queda de produtividade está associada à vibração e à poluição sonora e é mais intensa na alternativa A pelo mesmo motivo do nó anterior.

Alternativa A > Alternativa B

QUEDA PROD.	ALTER. A	ALTER. B
ALTER. A	1	3
ALTER. B	1/3	1

Nó 3: Insegurança

Os elementos causadores de insegurança são a intrusão visual e a segregação urbana, associadas ao trecho aéreo.

Alternativa A > Alternativa B

INSEGURANÇA	ALTER. A	ALTER. B
ALTER. A	1	3
ALTER. B	1/3	1

Nó 4: Perda da Identidade

De acordo com os estudos do metrô, na alternativa A há um maior adensamento urbano, expansão vertical e um maior número de desapropriações, que juntamente com a intrusão visual e a segregação urbana são responsáveis pela perda da identidade. O número de desapropriações da alternativa A é 50% maior. Assim o impacto desta é de essencial importância em relação à alternativa B.

Alternativa A >> Alternativa B

PERDA IDENT.	ALTER. A	ALTER. B
ALTER. A	1	5
ALTER. B	1/5	1

Nó 5: Danos ao Patrimônio

Pelas mesmas razões já citadas o impacto da alternativa A é muito maior .

Alternativa A >> Alternativa B

DANOS PATR.	ALTER. A	ALTER. B
ALTER. A	1	5
ALTER. B	1/5	1

Nó 6: Ruptura do Comércio Local

A ruptura do comércio local está associada à segregação urbana e a variação no uso do solo. Sendo assim é consideravelmente maior na alternativa A.

Alternativa A > Alternativa B

RUP. COM.	ALTER. A	ALTER. B
ALTER. A	1	4
ALTER. B	1/4	1

Nó 7: Alteração no Valor do Solo

De acordo com as estimativas efetuadas (tabela VIII.1) não há dominância de uma alternativa sobre a outra.

Alternativa A = Alternativa B

VALOR SOLO	ALTER. A	ALTER. B
ALTER. A	1	1
ALTER. B	1	1

Nó 8: Queda da mobilidade da População Local

Também vinculada à segregação urbana. Sendo assim:

Alternativa A > Alternativa B

QUEDA MOB.	ALTER. A	ALTER. B
ALTER. A	1	3
ALTER. B	1/3	1

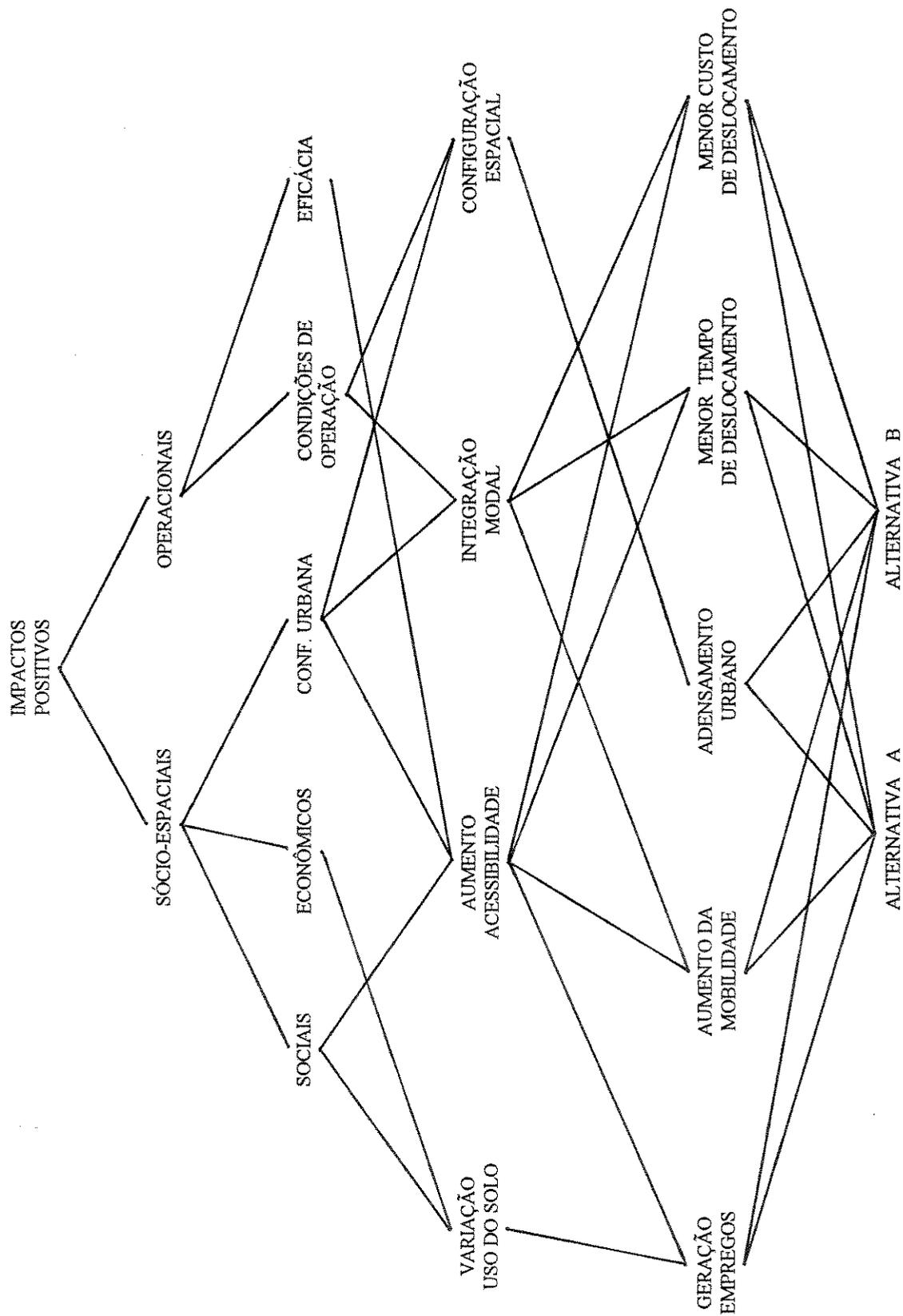


FIGURA VIII.2: HIERARQUIA DE IMPACTOS POSITIVOS

Hierarquia de Impactos Positivos

A análise foi efetuada de forma análoga a anterior, portanto só se detalhou quando as implicações foram consideradas relevantes.

Nível 1

Nó 1: Impactos Positivos

Foi dada a mesma importância às duas categorias de impactos.

sócio-espaciais = operacionais

IMPACTOS POS.	SÓCIO ESPACIAIS	OPERACIONAIS
SÓCIO ESPACIAIS	1	1
OPERACIONAIS	1	1

Nível 2

Nó1: Impactos Sócio-Espaciais

sociais > configuração urbana > econômicos

SOC-ECONÔMICOS.	SOCIAIS	ECONÔMICOS	CONF. URBANA
SOCIAIS	1	5	4
ECONÔMICOS	1/5	1	1/4
CONF. URBANA	1/4	4	1

Nó 2: Impactos Operacionais

Deseja-se saber qual dos elementos influencia mais os impactos operacionais.

condições de operação > eficácia

OPERACIONAIS	EFICÁCIA	COND. OPERAÇÃO
EFICÁCIA	1	4
COND. OPERAÇÃO	1/4	1

Nível 3

Nó 1: Sociais

É de interesse avaliar qual dos atributos acarreta maior benefício social.

acessibilidade >> uso do solo

SOCIAIS	USO SOLO	ACESSIBILIDADE
USO SOLO	1	1/5
ACESSIBILIDADE	5	1

Nó 2: Econômicos

Não há nada a ser comparado.

ECONÔMICOS	USO SOLO
USO SOLO	1

Nó 3: Configuração Urbana

O que é mais influenciado pela configuração urbana?

acessibilidade > configuração espacial > integração

CONF. URBANA	ACESSIBILIDADE	INTEGRAÇÃO	CONF. ESPACIAL
ACESSIBILIDADE	1	6	4
INTEGRAÇÃO	1/6	1	1/3
CONF. ESPACIAL	1/4	3	1

Nó 4: Condições de Operação

Qual fator interfere mais nas condições de operação?

configuração espacial >> integração

COND OPERAÇÃO	INTEGRAÇÃO	CONF. ESPACIAL
INTEGRAÇÃO	1	1/5
CONF. ESPACIAL	5	1

Nó 5: Eficácia

EFICÁCIA	ACESSIBILIDADE
ACESSIBILIDADE	1

Nível 4

Nó 1: Variação no Uso do Solo

USO SOLO	EMPREGOS
EMPREGOS	1

Nó 2: Aumento da Acessibilidade

De que forma um aumento da acessibilidade influencia os impactos relacionados?

geração de empregos > tempo deslocamento > mobilidade = custo deslocamento

ACESSIBILIDADE	EMPREGOS	MOBILIDADE	TEMPO DESL.	CUSTO DESL.
EMPREGOS	1	4	3	4
MOBILIDADE	1/4	1	1/3	1
TEMPO DESL.	1/3	3	1	3
CUSTO DESL.	1/4	1	1/3	1

Nó 3: Integração Modal

O que é mais vantajoso à população devido ao aumento da integração?

mobilidade > custo do deslocamento > tempo de deslocamento

INTEGRAÇÃO	MOBILIDADE	TEMPO DESL.	CUSTO DESL.
MOBILIDADE	1	4	3
TEMPO DESL.	1/4	1	2
CUSTO DESL.	1/3	1/2	1

Nó 4: Configuração Espacial

Qual dos atributos é mais beneficiado por uma melhor configuração urbana?

fluidez do tráfego > tempo de deslocamento

CONF. ESPACIA	FLUIDEZ TRÁF.	TEMPO DESL.
FLUIDEZ TRÁF.	1	4
TEMP DESL.	1/4	1

Nível 5

Nó 1: Geração de Empregos

A alternativa A gera 26 mil empregos enquanto que B gera 33 mil.

Alternativa B > Alternativa A

EMPREGOS	ALTER. A	ALTER. B
ALTER. A	1	1/4
ALTER. B	4	1

Nó 2: Aumento da Mobilidade

De acordo com as estimativas, efetuadas a alternativa A integra 226.092 mil passageiros por ano enquanto que a alternativa B 265.679 mil passageiros. E a mobilidade da população local é mais prejudicada em A devido ao maior trecho em superfície.

Alternativa B >> Alternativa A

MOBILIDADE	ALTER. A	ALTER. B
ALTER. A	1	1/5
ALTER. B	5	1

Nó 3: Adensamento Urbano

Ambas as alternativas apresentam o mesmo incremento em terrenos ocupados, entretanto A provoca um maior aumento da área construída.

Alternativa A > Alternativa B

ADENSAMENTO	ALTER. A	ALTER. B
ALTER. A	1	4
ALTER. B	1/4	1

Nó 4: Redução do Tempo de Deslocamento

De acordo com os cálculos efetuados, a alternativa A ocasiona uma redução de 121 milhões de horas por ano e B 84 milhões de horas.

Alternativa A > Alternativa B

TEMPO DESL.	ALTER. A	ALTER. B
ALTER. A	1	3
ALTER. B	1/3	1

Nó 5: Menor Custo de Deslocamento

Como trata-se da mesma tecnologia supõe-se que as tarifas sejam iguais.

Alternativa A = Alternativa B

CUSTO DESL.	ALTER. A	ALTER. B
ALTER. A	1	1
ALTER. B	1	1

5.2 Hierarquia de Impactos Negativos da Alternativa A

5.2.1 Hierarquia

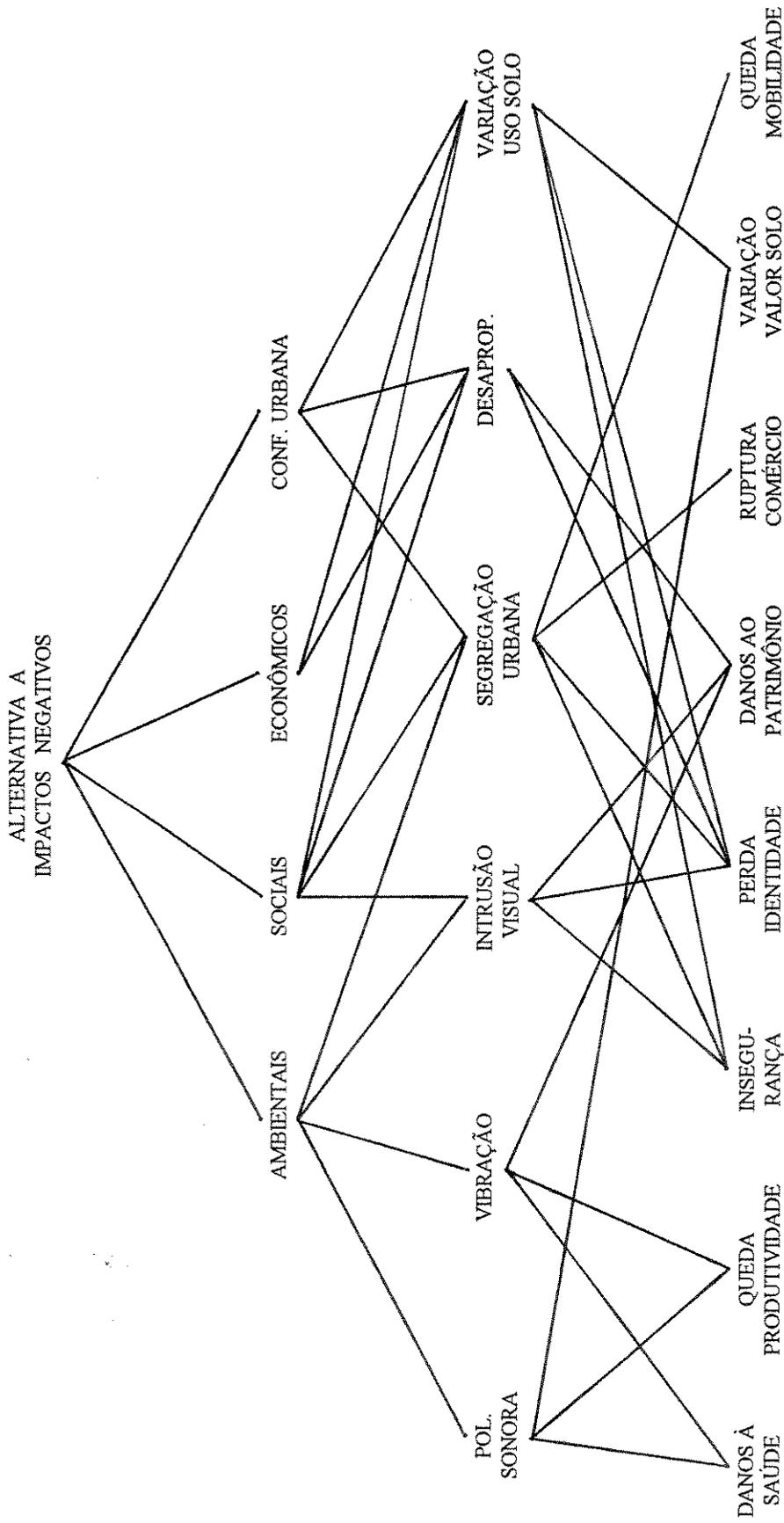
A hierarquia utilizada é praticamente a mesma do estudo anterior. Apresenta os seguintes níveis:

- Nível 1: Alternativa A
- Nível 2: Tipos de Impactos
- Nível 3: Impactos Primários
- Nível 5: Impactos Secundários

Como o último nível da hierarquia refere-se aos impactos secundários, de caráter negativo, avaliou-se a amplitude de cada um em relação à alternativa A. A hierarquia encontra-se esquematizada na figura VIII.3.

5.2.2 Ponderação das matrizes

Efetuada de forma análoga as avaliações anteriores. A diferença consiste em ter o enfoque voltado para a alternativa A. Avaliou-se o quanto cada um dos impactos considerados é afetado pela implantação do metrô. Não se detalhou os valores atribuídos, citou-se apenas as relações de prioridades definidas.



FIGURAVIII.3: HIERARQUIA DE IMPACTOS NEGATIVOS - ALTERNATIVA A

Nível 1

Nó 1: Alternativa A

Utilizou-se as mesmas ponderações anteriores.

ambiental > social > configuração urbana > econômico

ALTER. A	AMBIENTAIS	SOCIAIS	ECONÔMICOS	CONF. URBANA
AMBIENTAIS	1	3	6	5
SOCIAIS	1/3	1	5	4
ECONÔMICOS	1/6	1/5	1	1/4
CONF. URBANA	1/5	1/4	4	1

Nível 2

Nó 1: Ambientais

segregação urbana > intrusão visual > poluição sonora > vibração

AMBIENTAIS	POL. SONORA	VIBRAÇÃO	INTR. VISUAL	SEG. URBANA
POL. SONORA	1	2	1/3	1/5
VIBRAÇÃO	1/2	1	1/4	1/7
INTR. VISUAL	3	4	1	1/2
SEG. URBANA	5	7	2	1

Nó 2: Sociais

uso do solo > segregação urbana > intrusão visual > desapropriações

SOCIAIS	INTR. VISUAL	SEG.. URABANA	DESAPROP.	USO DO SOLO
INTR. VISUAL	1	1/4	3	1/6
SEG.. URBANA	4	1	5	1/4
DESAPROP.	1/3	1/5	1	1/7
USO DO SOLO	6	4	7	1

Nó 3: Económico

uso do solo >> desapropriações

ECONÓMICO	DESAPROP.	USO DO SOLO
DESAPROP.	1	1/5
USO DO SOLO	5	1

Nó 4: Configuração Urbana

uso do solo > desapropriações > segregação urbana

CONF. URBANA	SEG. URBANA	DESAPROP.	USO DO SOLO
SEG. URBANA	1	1/3	1/4
DESAPROP.	3	1	1/2
USO DO SOLO	4	2	1

Nível 3

Nó 1: Poluição Sonora

danos à saúde >> queda produtividade > alterações no valor do solo

POL. SONORA	DANOS SAÚDE	QUEDA PROD.	VALOR SOLO
DANOS SAÚDE	1	5	6
QUEDA PROD.	1/5	1	5
VALOR SOLO	1/6	1/5	1

Nó 2: Vibração

danos ao patrimônio > danos à saúde > queda produtividade

VIBRAÇÃO	DANOS SAÚDE	QUEDA PROD.	DANOS PATR.
DANOS SAÚDE	1	4	1/2
QUEDA PROD.	1/4	1	1/5
DANOS PATR.	2	5	1

Nó 3:Intrusão Visual

perda identidade > danos ao patrimônio > insegurança

INTR. VISUAL	INSEGURANÇA	PERDA IDENT.	DANOS PATR.
INSEGURANÇA	1	1/5	1/3
PERDA IDENT.	5	1	4
DANOS PATR.	3	1/4	1

Nó 4: Segregação Urbana

insegurança > ruptura do comércio local > perda identidade > queda mobilidade

SEG. URBANA	INSEGURANÇA	PERDA IDENT.	RUP. COMÉRCIO	QUEDA MOB.
INSEGURANÇA	1	5	4	6
PERDA IDENT.	1/5	1	4	3
RUP. COMÉRCIO	1/4	1/4	1	2
QUEDA MOB.	1/6	1/3	1/2	1

Nó 5: Desapropriações

perda identidade >> danos ao patrimônio

DESAPROP.	PERDA IDENT.	DANOS PATR.
PERDA IDENT.	1	5
DANOS PATR.	1/5	1

Nó 6: Uso do Solo

valor do solo > perda identidade > insegurança

USO DO SOLO	INSEGURANÇA	PERDA IDENT.	VALOR SOLO
INSEGURANÇA	1	1/4	1/5
PERDA IDENT.	4	1	1/4
VALOR SOLO	5	4	1

5.3 Hierarquia de Ponderação

5.3.1 Hierarquia

Neste estudo ponderou-se várias metas que influem no processo de tomada de decisão. Deseja-se:

- Maximizar os impactos positivos
- Minimizar os impactos negativos
- Maximizar a população beneficiada
- Maximizar o número de passageiros transportados
- Minimizar os custos de implantação
- Direcionar o crescimento urbano da RMSP

A hierarquia está discriminada na figura VIII. 4 e contém 3 níveis:

Nível 1: Ponderação

Nível 2: Metas

Nível 3: Alternativas

5.3.2 Avaliação das matrizes

Neste processo de avaliação comparou-se na mesma hierarquia elementos a serem maximizados e minimizados. Com a finalidade de obter-se uma congruência na análise avaliou-se o inverso dos atributos a serem minimizados, ou seja, maximizou-se o inverso do mínimo.

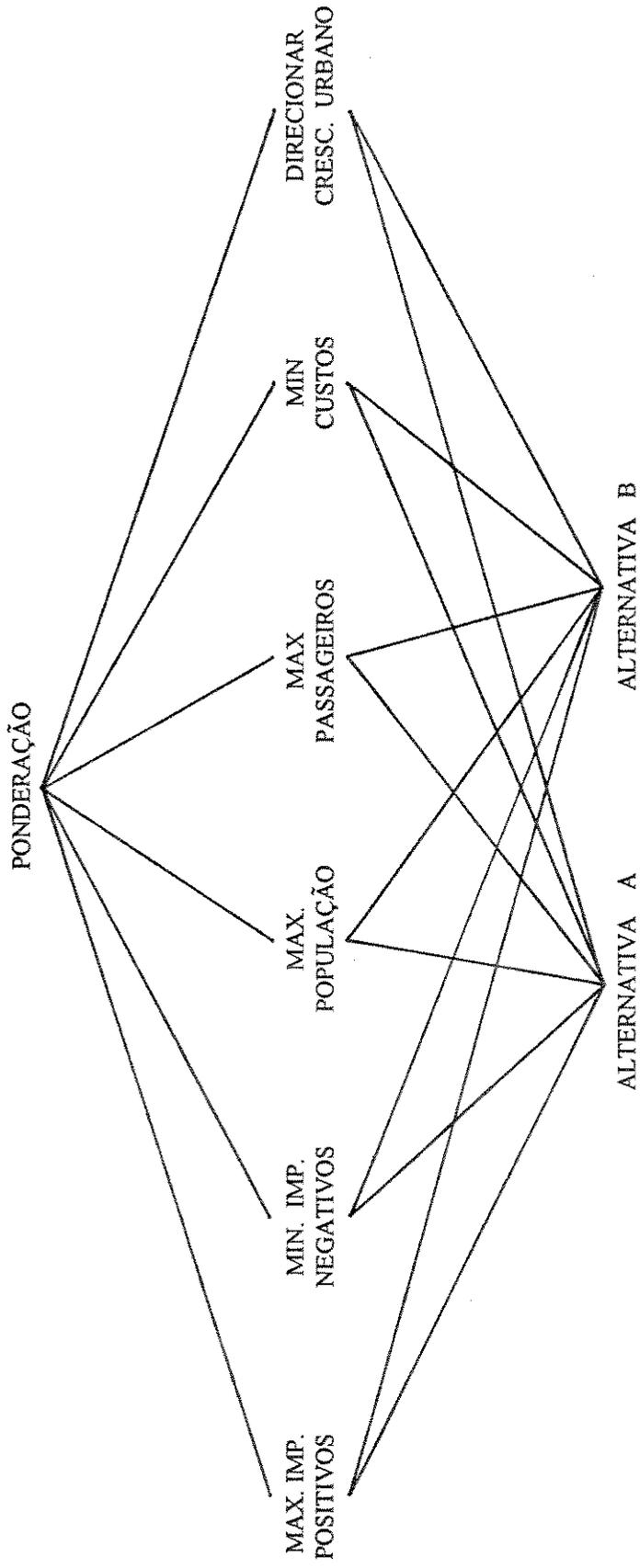


FIGURA VIII.4: HIERARQUIA DE PONDERAÇÃO

Nível 1

Nó 1: Ponderação

Considerou-se a seguinte relação de importância:

$$\text{max imp pos} > \text{min imp neg} > \text{max pop} > \text{max pass} > \text{min custos} > \text{dir cresc. urbano}$$

PONDERAÇÃO	MAX IMP POS	MIN IMP NEG	MAX POP	MAX PASS	MIN CUSTOS	DIR CRESC
MAX IMP POS	1	3	4	5	6	7
MIN IMP NEG	1/3	1	3	4	5	6
MAX POP	1/4	1/3	1	2	3	4
MAX PASS	1/5	1/4	1/2	1	2	3
MIN CUSTOS	1/6	1/5	1/3	1/2	1	2
DIR CRESC	1/7	1/6	1/4	1/3	1/2	1

Nível 2

Os valores dos elementos das matrizes não foram estimados. Foram utilizados os resultados já obtidos nas hierarquias de impactos positivos e negativos, mostrados nas tabelas VIII.2 e VIII.4 e os dados estimados pelo Metro, tabela VIII.1.

Os valores estimados pelo Metrô foram normalizados, deste modo ficaram de acordo com o MAH.

Nó 1: Maximizar os impactos positivos

De acordo com os resultados da hierarquia de impactos positivos obteve-se:

Alternativa A : 0.505

Alternativa B: 0.495

então,

$$a_{12} = w_1/w_2 = 0.505/0.495 = 1.020$$

MAX IMP POS	ALTER A	ALTER B
ALTER A	1	1.020
ALTER B	1/ 1.020	1

Nó 2: Minimizar os impactos negativos

O resultado da hierarquia de impactos negativos foi (0.751 0.249), assim

$$a_{12} = (w_1/w_2)^{-1} = 0.249/0.751 = 0.332$$

MIN IMP NEG	ALTER A	ALTER B
ALTER A	1	0.332
ALTER B	1/0.332	1

Nó 3: Maximizar a população beneficiada

De acordo com as estimativas do Metrô a população beneficiada será:

Alternativa A: 1.493.000 habitantes

Alternativa B: 536.000 habitantes

Normalizando estes valores teremos o seguinte vetor $w = (0.736 \quad 0.264)$, assim

$$a_{12} = w_1/w_2 = 0.736/0.264 = 2.788$$

MAX POP	ALTER A	ALTER B
ALTER A	1	2.788
ALTER B	1/2.788	1

Nó 4: Maximizar os passageiros transportados

Do mesmo modo os passageiros estimados são:

Alternativa A: 750.000

Alternativa B: 940.000

Normalizando tem-se o vetor $w = (0.444 \quad 0.556)$ e,

$$a_{12} = w_1/w_2 = 0.444/0.556 = 0.799$$

MAX PASS	ALTER A	ALTER B
ALTER A	1	0.799
ALTER B	1/0.799	1

Nó 5: Minimizar os custos de implantação

Do mesmo modo os custos estimados foram:

Alternativa A: Cr\$ 40.660 milhões

Alternativa B: Cr\$ 48.089 milhões

$$w = (0.458 \quad 0.542) \text{ e } a_{12} = (w_1/w_2)^{-1} = 0.542/0.458 = 1.183$$

MIN CUSTOS	ALTER A	ALTER B
ALTER A	1	1.183
ALTER B	1/1.183	1

Nó 6: Direcionar o crescimento urbano da RMSP

Já em relação ao direcionamento do crescimento urbano não existe uma análise quantitativa. A linha referente a alternativa B tem um padrão radio-concêntrico enquanto que a alternativa A foge um pouco deste padrão.

Assim se considerou que a razão alternativa A / alternativa B é 3.

DIR. CRESC.	ALTER A	ALTER B
ALTER A	1	3
ALTER B	1/3	1

6. RESULTADOS DOS ESTUDOS EFETUADOS

Os resultados, de cada hierarquia avaliada, foram apresentados em duas tabelas.

- **Tabela de Prioridades:** Esta tabela apresenta os vetores de prioridades de cada nó considerando as influências dos níveis abaixo. Formada de três colunas: a primeira representa o nível analisado; a segunda, os elementos em questão; a terceira, os vetores prioridades. Os vetores prioridades têm a mesma dimensão do número de alternativas em estudo, independentemente da dimensão da matriz associada ao nó.

- **Tabela de Autovetores:** A tabela é constituída de 4 colunas: na primeira citamos o nível; na segunda, o tipo de impacto que está sendo avaliado; na terceira, os elementos do nível abaixo que o influenciam; na quarta, os autovetores correspondentes (aos elementos da segunda coluna), o autovalor máximo (λ_{\max}) e a razão de consistência (RC).

Os autovetores fornecem a importância relativa de cada elemento em relação ao atributo associado. O vetor prioridade, a relação de dominância do impacto em questão em relação a cada alternativa, computando as influencias dos níveis inferiores.

6.1 Dos Impactos Positivos e Negativos

6.1.1 Impactos negativos

Tabela de Prioridades

NÍVEL	IMPACTOS	PRIORIDADES	
		ALTER. A	ALTER. B
1- OBJETIVO	IMPACTOS NEGATIVOS	0.753	0.247
2- CATEGORIAS	SÓCIO ESPACIAIS	0.753	0.247
3- TIPOS	AMBIENTAIS	0.753	0.247
	SOCIAIS	0.785	0.215
	ECONÔMICOS	0.800	0.200
	CONF. URBANA	0.659	0.341
4- PRIMÁRIOS	POL. SONORA	0.730	0.270
	VIBRAÇÃO	0.801	0.199
	INTRUSÃO VISUAL	0.825	0.175
	SEGREGAÇÃO URBANA	0.765	0.235
	DESAPROPRIAÇÕES	0.833	0.167
	VARIAÇÃO USO DO SOLO	0.603	0.397
5- SECUNDÁRIOS	DANOS À SAÚDE	0.750	0.250
	QUEDA PRODUTIVIDADE	0.750	0.250
	INSEGURANÇA	0.750	0.250
	PERDA IDENTIDADE	0.833	0.167
	DANOS AO PATRIMÔNIO	0.833	0.167
	RUPTURA COM. LOCAL	0.800	0.200
	VARIAÇÃO VALOR SOLO	0.500	0.500
	QUEDA MOBILIDADE	0.750	0.250

TABELA VIII.2: VETORES DE PRIORIDADES
HIERARQUIA DE IMPACTOS NEGATIVOS

Tabela de Autovetores:

NÍVEL	IMPACTOS	ELEMENTOS DE INFLUÊNCIA	AUTOVETOR
1- OBJETIVO	IMPACTOS NEGATIVOS (Nº 1)	SÓCIO - ESPACIAIS	Nº 1 1.0 $\lambda_{\max} = 1$ RC = 0
2- CATEGORIAS	SÓCIO - ESPACIAIS (Nº 1)	AMBIENTAIS SOCIAIS ECONÔMICOS CONF. URBANA	$\lambda_{\max} = 4.111$ RC = 0.041 Nº 1 0.531 0.281 0.057 0.130
3- TIPOS	AMBIENTAIS (Nº 1) SOCIAIS (Nº 2) ECONÔMICOS (Nº 3) CONF. URBANA (Nº 4)	POL. SONORA VIBRAÇÃO INTRUSÃO VISUAL SEGREGAÇÃO URBANA DESAPROPRIAÇÕES VARIACÃO USO SOLO	Nº 1 Nº 2 Nº 3 Nº 4 0.608 --- --- --- 0.056 --- --- --- 0.130 0.077 --- --- 0.206 0.273 --- 0.223 --- 0.526 0.857 0.084 --- 0.124 0.143 0.692
4- PRIMÁRIOS	POL. SONORA (1) VIBRAÇÃO (2) INTRUSÃO VISUAL (3) SEGREGAÇÃO URBANA (4) DESAPROPRIAÇÕES (5) VARIACÃO USO SOLO (6)	DANOS À SAÚDE QUEDA PROD. INSEGURANÇA PERDA IDENTIDADE DANOS PATRIMÔNIO RUPTURA COM. LOCAL VAR. VALOR SOLO QUEDA MOBILIDADE	4.035 4.082 2.000 3.053 λ_{\max} 0.013 0.030 0.0 0.046 RC Nº 1 Nº 2 Nº 3 Nº 4 Nº 5 Nº 6 0.658 0.272 --- --- --- 0.262 0.120 --- --- --- --- --- 0.104 0.569 --- 0.104 --- --- 0.665 0.140 0.833 0.231 --- 0.608 0.231 --- 0.167 --- --- --- --- 0.060 --- --- 0.080 --- --- --- 0.665 --- --- --- 0.231 --- ---
5- SECUNDÁRIOS	DANOS À SAÚDE (1) QUEDA PRODUTIVIDADE (2) INSEGURANÇA (3) PERDA IDENTIDADE (4) DANOS AO PATRIMÔNIO (5) RUPTURA COM. LOCAL (6) VARIACÃO VALOR SOLO (7) QUEDA MOBILIDADE (8)	ALTERNATIVA A ALTERNATIVA B	3.056 3.038 3.036 4.113 2.000 3.036 λ_{\max} 0.049 0.033 0.031 0.042 0.0 0.031 RC Nº 1 Nº 2 Nº 3 Nº 4 Nº 5 Nº 6 Nº 7 Nº 8 0.750 0.750 0.750 0.833 0.833 0.800 0.500 0.750 0.250 0.250 0.250 0.167 0.167 0.200 0.500 0.250
			$\lambda_{\max} = 2.0$ e RC = 0 para todas as matrizes

TABELA VIII.3: TABELA DOS AUTOVETORES DE CADA MATRIZ DA HIERARQUIA DE IMPACTOS NEGATIVOS (---) : não existe relação de influência entre os elementos

6.1.2 Impactos positivos

Tabela de Prioridades

NÍVEL	IMPACTOS	PRIORIDADES	
		ALTER. A	ALTER. B
1- OBJETIVO	IMPACTOS POSITIVOS	0.505	0.495
2- CATEGORIAS	SÓCIO-ESPACIAIS	0.362	0.638
	OPERACIONAIS	0.648	0.352
3- TIPOS	SOCIAIS	0.346	0.654
	ECONÔMICOS	0.200	0.800
	CONF. URBANA	0.464	0.536
	COND. OPERAÇÃO	0.717	0.283
	EFICÁCIA	0.375	0.625
4- PRIMÁRIOS	VARIAÇÃO VALOR SOLO	0.200	0.800
	AUMENTO ACESSIBILIDADE	0.375	0.625
	INTEGRAÇÃO MODAL	0.350	0.650
	CONF. ESPACIAL	0.790	0.210
5- SECUNDÁRIOS	GERAÇÃO DE EMPREGOS	0.200	0.800
	AUMENTO MOBILIDADE	0.167	0.833
	ADENSAMENTO URBANO	0.800	0.200
	MENOR TEMPO DESL.	0.750	0.250
	MENOR CUSTO DESL.	0.500	0.500

TABELA VIII.4: VETORES DE PRIORIDADES
HIERARQUIA DE IMPACTOS POSITIVOS

Tabela de Autovetores

NÍVEL	IMPACTOS	ELEMENTOS DE INFLUÊNCIA	AUTOVETOR
1- OBJETIVO	IMPACTOS POSITIVOS (Nº 1)	SÓCIO - ESPACIAIS OPERACIONAIS	Nº 1 0.500 0.500 $\lambda_{max} = 2.00$ RC = 0
2- CATEGORIAS	SÓCIO-ESPACIAIS (Nº 1) OPERACIONAIS (Nº 2)	SOCIAIS ECONÓMICOS CONF. URBANA CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO EFICÁCIA	Nº 1 0.651 0.095 0.254 -- 0.800 0.200 3.061 2.000 λ_{max} 0.052 0.0 RC
3- TIPOS	SOCIAIS (Nº 1) ECONÓMICOS (Nº 2) CONF. URBANA (Nº 3) CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO (Nº 4) EFICÁCIA (Nº 5)	VARIAÇÃO USO SOLO AUMENTO ACESSIBILIDADE INTEGRAÇÃO MODAL CONFIGURAÇÃO ESPACIAL	Nº 1 Nº 2 Nº 3 Nº 4 Nº 5 0.167 1.000 -- -- -- 0.833 -- 0.685 -- 1.000 -- -- 0.093 0.167 -- -- -- 0.221 0.833 -- 2.000 1.000 3.020 2.000 λ_{max} 0.0 0.0 0.017 0.0 RC
4- PRIMÁRIOS	VARIAÇÃO USO SOLO (1) AUMENTO ACESSIBILIDADE (2) INTEGRAÇÃO MODAL (3) CONFIGURAÇÃO ESPACIAL (4)	GERAÇÃO DE EMPREGOS AUMENTO DA MOBILIDADE ADENSAMENTO URBANO MENOR TEMPO DESL. MENOR CUSTO DESL.	Nº 1 Nº 2 Nº 3 Nº 4 1.000 0.519 -- -- -- 0.108 0.620 -- -- -- -- 0.800 -- 0.266 0.244 0.200 -- 0.108 0.156 -- 1.000 4.073 3.031 2.000 λ_{max} 0.0 0.027 0.053 0.0 RC
5- SECUNDÁRIOS	GERAÇÃO DE EMPREGOS (1) AUMENTO DA MOBILIDADE (2) ADENSAMENTO URBANO (3) MENOR TEMPO DESL. (4) MENOR CUSTO DESL. (5)	ALTERNATIVA A ALTERNATIVA B	Nº 1 Nº 2 Nº 3 Nº 4 Nº 5 0.200 0.167 0.800 0.750 0.500 0.800 0.833 0.200 0.250 0.500 $\lambda_{max} = 2.0$ e RC = 0 para todas as matrizes

TABELA VIII.5: TABELA DOS AUTOVECTORES DE CADA MATRIZ
HIERARQUIA DE IMPACTOS POSITIVOS

(---) : não existe relação de influência entre os elementos

6.1.3 Avaliação dos impactos negativos e positivos

De acordo com a tabela VIII.2 a alternativa A apresentou um maior impacto negativo para todos os itens, sem exceção. Como trata-se de impactos negativos o interesse é que sejam os menores possíveis. Sendo assim em relação a estes impactos, "venceria" a alternativa B.

Analisaou-se um item para facilitar a compreensão das tabelas VIII.2 e VIII.3.

Ao avaliar-se o impacto ambiental pela tabela VIII.3 vemos que: o maior elemento de impacto refere-se à poluição sonora, com uma amplitude muito maior que qualquer outro (.608); em segundo lugar ocorre a segregação urbana, porém com muito menos intensidade (.206); a intrusão visual e a vibração exercem pouca influência, (0.130) e (0.056) respectivamente.

De acordo com a tabela VIII.2 o impacto ambiental da alternativa A (0.753) é muito maior que de B (0.247), praticamente 3 vezes maior.

Já pela tabela VIII.4 analisa-se os impactos positivos, logo interessa o máximo valor, a "melhor" alternativa seria a alternativa A (0.505), que entretanto está muito próximo de B (0.495).

Os impactos positivos não possuem uma dominância absoluta de uma alternativa sobre a outra. A alternativa B apresentou melhores impactos em relação à geração de empregos, aumento da mobilidade e da acessibilidade, integração modal, variação do valor do solo, impactos econômicos, sociais e na configuração urbana e impactos sócio-espaciais. Os outros impactos analisados favoreceram a alternativa A

Saaty (1990) recomenda que neste tipo de análise seja feita a razão dos resultados das duas hierarquias, uma avaliação benefício/custo.

Razão: Impactos Positivos / Impactos Negativos:

Alternativa A : $0.505 / 0.753 = 0.67$

Alternativa B: $0.495 / 0.247 = 2.00$

Portanto de acordo com esta análise seria mais recomendável a implantação da alternativa B. Mas deve-se ficar atento pois o fator de decisão foi o impacto negativo, muito maior em A.

Como a alternativa A apresentou um grande impacto negativo, mas também um maior positivo, efetuou-se uma análise isolada de seus impactos negativos a fim de se obter mais informações para a tomada de decisão.

6.2 Dos Impactos Negativos da Alternativa A

6.2.1 Tabela de prioridades

NÍVEL	IMPACTOS	PRIORIDADES							
		SAÚE	PROD.	INSEG	IDENT	PATR	COM	U. SOLO	MOB.
1- OBJETIVO	IMPACTOS NEGATIVOS	.053	.018	.258	.337	.074	.043	.190	.027
3- TIPOS	AMBIENTAIS	.099	.034	.336	.318	.105	.062	.008	.038
	SOCIAIS	---	---	.212	.325	.034	.029	.381	.018
	ECONÔMICOS	---	---	.078	.351	.028	---	.543	---
	CONF. URBANA	---	---	.124	.438	.053	.014	.362	.009
4- PRIMÁRIOS	POL. SONORA	.679	.241	---	---	---	---	.079	---
	VIBRAÇÃO	.334	.098	---	---	.568	---	---	---
	INTRUSÃO VISUAL	---	---	.104	.665	.231	---	---	---
	SEGREGAÇÃO URBANA	---	---	.575	.237	---	.116	---	.072
	DESAPROPRIAÇÕES	---	---	---	.833	.167	---	---	---
	VARIAÇÃO USO DO SOLO	---	---	.095	.254	---	---	.651	---

TABELA VIII. 6: VETORES DE PRIORIDADES
HIERARQUIA DE IMPACTOS NEGATIVOS - ALTERNATIVA A

6.2.2 Tabela de autovetores

NÍVEL	IMPACTOS	ELEMENTOS DE INFLUENCIA	AUTOVETOR
1- OBJETIVO	ALTERNATIVA A (Nº 1)	AMBIENTAIS SOCIAIS ECONÓMICOS CONF. URBANA	$\lambda_{\max} = 4.111$ RC = 0.041 NO 1 NO 2 NO 3 NO 4 0.531 --- --- --- 0.281 --- --- --- 0.057 --- --- --- 0.130 --- --- ---
2- TIPOS	AMBIENTAIS (Nº 1) SOCIAIS (Nº 2) ECONÓMICOS (Nº 3) CONF. URBANA (Nº 4)	POL. SONORA VIBRAÇÃO INTRUSÃO VISUAL SEGREGAÇÃO URBANA DESAPROPRIAÇÕES VARIAÇÃO USO SOLO	λ_{\max} NO 1 NO 2 NO 3 NO 4 NO 5 NO 6 0.112 --- --- --- --- --- 0.068 --- --- --- --- --- 0.288 0.107 --- --- --- 0.532 0.252 --- 0.123 --- 0.055 0.167 0.320 --- 0.568 0.833 0.557
3 - PRIMÁRIOS	POL. SONORA (1) VIBRAÇÃO (2) INTRUSÃO VISUAL (3) SEGREGAÇÃO URBANA (4) DESAPROPRIAÇÕES (5) VARIAÇÃO USO SOLO (6)	DANOS À SAÚDE QUEDA PRO. INSEGURANÇA PERDA IDENTIDADE DANOS PATRIMÔNIO RUPTURA COM. LOCAL VAR. VALOR SOLO QUEDA MOBILIDADE	λ_{\max} NO 1 NO 2 NO 3 NO 4 NO 5 NO 6 4.006 4.101 2.000 3.011 λ_{\max} 0.002 0.037 0.0 0.009 RC NO 1 NO 2 NO 3 NO 4 NO 5 NO 6 0.679 0.334 --- --- --- 0.241 0.098 --- --- --- --- --- 0.104 0.575 --- 0.095 --- --- 0.665 0.237 0.833 0.254 --- 0.568 0.231 --- 0.167 --- --- --- 0.116 --- --- 0.079 --- --- --- 0.651 --- --- --- 0.072 --- --- 3.073 3.012 3.036 4.171 2.000 3.061 λ_{\max} 0.063 0.011 0.031 0.063 0.0 0.052 RC

TABELA VIII.7. TABELA DOS AUTOVECTORES DE CADA MATRIZ DA HIERARQUIA DE IMPACTOS NEGATIVOS - ALTERNATIVA A (---) : não existe relação de influência entre os elementos

6.2.3. Avaliação dos impactos negativos da alternativa A

Pelas análises efetuadas e de acordo com os pesos atribuídos constatou-se que os maiores impactos da alternativa A são perda da identidade física e cultural seguida pela insegurança. A não ser pela variação no uso do solo, os outros impactos apresentam uma pequena amplitude.

Através da tabela VIII.6 detectou-se os maiores impactos da alternativa A e suas consequências, que dependem da amplitude do impacto. A poluição sonora poderá ocasionar um grande dano à saúde; poderá haver uma grande preocupação com atropelamentos e acidentes devido à segregação urbana; a intrusão visual e as desapropriações poderão causar uma perda considerável da identidade física e cultural; o patrimônio poderá ser prejudicado em consequência da vibração produzida pelo metrô.

A análise não deve terminar neste ponto pois o objetivo do estudo é o de fornecer informações ao decisor. A hierarquia de ponderação avalia outros fatores importantes no processo de tomada de decisão.

6.3 Da Ponderação

6.3.1 Tabela de prioridades

NÍVEL	IMPACTOS	PRIORIDADES	
		ALTER A	ALTER B
1- OBJETIVO	PONDERAÇÃO	0.476	0.524
2- CRITÉRIOS	MAX IMP. POS.	0.505	0.495
	MIN IMP. NEG	0.249	0.751
	MAX. POPULAÇÃO	0.736	0.264
	MAX PASSAGEIROS	0.444	0.556
	MIN CUSTOS	0.542	0.458
	DIR. CRESC. URBANO	0.750	0.250

TABELA VIII.8: VETORES DE PRIORIDADES
HIERARQUIA DE PONDERAÇÃO

6.3.2 Tabela de autovetores

NÍVEL	IMPACTOS	ELEMENTOS DE INFLUÊNCIA	AUTOVETOR
1- OBJETIVO	PONDERAÇÃO	MAX IMP POSITIVOS MIN IMP NEGATIVOS MAX POPULAÇÃO MAX PASSAGEIROS MIN CUSTOS DIR. CRESC. URBANO	N° 1 0.427 0.258 0.133 0.087 0.057 0.038 $\lambda_{\max} = 6.195$ $RC = 0.032$
2- FATORES	MAX IMP POSITIVOS (1) MIN IMP NEGATIVOS (2) MAX POPULAÇÃO (3) MAX PASSAGEIROS (4) MIN CUSTOS (5) DIR. CRESC. URBANO (6)	ALTERNATIVA A ALTERNATIVA B	N° 1 N° 2 N° 3 N° 4 N° 5 N° 6 0.505 0.249 0.736 0.444 0.542 0.750 0.495 0.751 0.264 0.556 0.458 0.250 $\lambda_{\max} = 2.00$ e $RC = 0$ para todas as matrizes

TABELA VIII.9: TABELA DOS AUTOVETORES DE CADA MATRIZ DA HIERARQUIA DE PONDERAÇÃO

6.3.3 Avaliação da ponderação

Ao incluir-se outros elementos na análise, a alternativa B passou a apresentar uma ligeira vantagem sobre a alternativa A. Verificou-se que as vantagens estão, predominantemente, na minimização dos impactos negativos e na maximização dos passageiros transportados.

6.4 Conclusão

Como dito anteriormente, a análise efetuada, envolvendo os três estudos, não visa fornecer uma solução "ótima" ao problema, apenas levantar dados e informações.

Ela é útil como uma ferramenta de apoio ao processo de tomada de decisão. Sempre caberá aos agentes envolvidos decidir pela alternativa a ser implantada. Nesta aplicação, por exemplo, caberá avaliar a amplitude dos impactos negativos da alternativa A, principal motivo das análises não a favorecerem, a gravidade ou não dos problemas decorrentes, bem como maneiras de amenizar problemas detectados. Por fim, caberá ponderar para cada alternativa onde ela é benéfica ou maléfica de acordo com os objetivos globais do planejamento.

IX. CONCLUSÃO

Os impactos causados ao meio urbano e à população pela implantação ou expansão de sistemas de transporte são profundos e afetam gerações. Via de regra, são várias as alternativas existentes, envolvendo diversos grupos sociais com critérios diferentes e em geral não-mensuráveis.

Os impactos decorrentes são, em sua maioria, reações às ações previamente tomadas. Uma vez implantado um sistema, este causará mudanças no meio urbano, podendo gerar alterações na forma de uso e ocupação do solo, que, certamente refletirão sobre as relações sócio-econômicas, dando origem aos impactos sobre o meio ambiente.

A partir do momento em que ocorre uma modificação do sistema vigente, urbano ou de transportes, inicia-se um desencadeamento de ações e reações ocasionando vários impactos à população e ao meio ambiente.

O MAH mostrou-se um procedimento eficaz, na análise de diferentes impactos de sistemas de transporte e no processo de tomada de decisão, uma vez que possibilita:

- **Trabalhar com uma equipe multidisciplinar:** o caráter multidisciplinar do planejamento de transporte fica muito claro quando se analisa as diferentes perspectivas que desempenha na sociedade, a estes diferentes enfoques correspondem diferentes segmentos sociais, os quais apresentam interesses distintos além de serem constituídos tanto de leigos como de especialistas na área. A simplicidade matemática e do processo de avaliação do MAH o torna compreensível a todos e permite a participação das diferentes representações de interesses, ao contrário da metodologia clássica que é baseada na aplicação de diversos modelos compreensíveis apenas aos especialistas. Deste modo possibilita a busca de decisões consensuais e não somente da alternativa "ótima".
- **Hierarquizar as variáveis/elementos analisados:** as variáveis e os elementos envolvidos no planejamento de transporte possuem uma natureza hierárquica e

apresentam diferentes magnitudes e importância. Através da elaboração das hierarquias é possível avaliar elementos de natureza distintas, como o custo de implantação e os impactos ambientais, de uma forma congruente sem que haja a predominância de alguns na análise.

- **Hierarquizar, ordenar e encadear os impactos e suas consequências:** os impactos de um sistema de transporte são provenientes de ações previamente tomadas e por sua vez ocasionam outros desdobramentos. Através da hierarquia os agentes causadores de impactos e suas decorrências são explicitados e avaliadas em níveis distintos possibilitando uma melhor ponderação e compreensão dos mesmos.
- **Efetuar ponderações e quantificações de elementos não-mensuráveis:** a análise de impactos, sobretudo ambientais e sociais, envolve uma série de valores não-mensuráveis o que dificulta a avaliação e ponderação do problema. Através do MAH pode-se quantificá-los tornando a avaliação mais abrangente.
- **Ordenar várias alternativas de acordo com critérios pré-estabelecidos:** através dos vetores prioridades pode-se não só avaliar o resultado e a ordenação final mas também analisar cada alternativa em relação a algum critério específico, este fato é possível devido ao caráter hierárquico do modelo que permite uma avaliação parcial dos níveis.
- **Fornecer uma grande quantidade de informações:** por trabalhar com um grande número de variáveis e parâmetros simultaneamente permite analisar as alternativas dentro de uma análise mais ampla de planejamento, através da avaliação conjunta de fatores técnicos, sociais, operacionais, ambientais, etc...
- **Permitir um refinamento da análise:** através da elaboração de várias hierarquias distintas, utilizando resultados já obtidos ou não considerados anteriormente, aumenta-se o espectro dos fatores avaliados, resultando em um refinamento da análise.

O MAH mostrou-se uma ferramenta muito útil no processo de tomada de decisão, pois, além de todos os aspectos levantados anteriormente, ao elaborar-se várias hierarquias foi possível detectar as influências e interferências entre vários tipos de impactos, qual o grau de dependência existente, detectar onde ocorrem os impactos de maior amplitude e efetuar uma ponderação de vários fatores determinantes no processo de tomada de decisão como: impactos positivos e negativos, custo de implantação, passageiros transportados, etc... Caso sinta-se a necessidade, esta análise de ponderação pode ser

aprimorada e incluir, por exemplo, os impactos separados por tipo ou categoria. A hierarquia permite detectar o origem de um impacto, seus desdobramentos e a amplitude das consequências sobre população.

Durante a aplicação da metodologia constatou-se que:

- Para obter-se uma boa modelagem, deve-se classificar e elaborar os níveis hierárquicos de modo que seja possível efetuarem-se comparações congruentes.
- A fim de evitar uma solução distorcida deve-se preencher as matrizes com muito cuidado buscando o máximo de consistência nos julgamentos. Se possível, testar o grau de inconsistência e quando este for alto, rediscutir a questão.
- O procedimento é pouco sensível a pequenas alterações. Como ele utiliza e multiplica uma série de matrizes e vetores, um elemento de uma matriz dilue-se em todo o sistema.
- A influência de alterações está fortemente relacionada a dimensão do sistema. Hierarquias com poucos níveis e nós, são muito mais sensíveis. Este fato explica-se pela menor diluição do(s) elemento(s).

No *software* desenvolvido testa-se a inconsistência de cada matriz e indica-se o elemento mais "inconsistente". É um procedimento muito útil e garante uma solução com menor erro. Seria mais eficiente se fosse detectado não somente o "pior" elemento mas onde a relação de inconsistência esta sendo fortemente violada. Como não tivemos problemas de inconsistência este procedimento não foi desenvolvido.

Se for desejável efetuar uma análise de sensibilidade o MAH não possui um procedimento direto. Deve-se voltar ao problema em questão, alterar os valores a serem testados e executar o programa novamente. Este fato não permite uma agilidade de avaliações em relação, por exemplo, aos efeitos que medidas amenizadoras sobre um determinado impacto causariam no resultado da hierarquia. Esta rigidez é atenuada pelo fato do programa ser de rápida execução e não necessita mais do que alguns minutos, facilitando as reavaliação necessárias.

No decorrer deste trabalho notou-se que os impactos sociais dos sistemas de transportes foram muito pouco estudados, além da intrusão visual e segregação urbana que parecem não ser elementos de preocupação da sociedade devido a pouca ênfase dada aos mesmos nos estudos de impactos ambientais.

Este estudo não abordou as consequências de vários impactos sobre a população. Estas consequências vão desde uma nova perda da acessibilidade, devido ao deslocamento da população, sobretudo a mais carente, ou ao aumento do tráfego na região, até consequências econômicas-financeiras.

Merlin (1984) efetuou um estudo onde avalia os "custos sociais para a coletividade" decorrentes, entre outros fatores, dos impactos ambientais e sociais. Ele quantifica além dos custos em investimento necessários à implantação e operação do sistema, o valor do(s): tempo consumido no deslocamento, desconforto ao qual a população é muitas vezes submetida, "incomodos" causados à população, acidentes, queda ou perda da produtividade de um indivíduo entre outros.

Seria útil e interessante dar prosseguimento a este trabalho desenvolvendo os aspectos citados acima.

X. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALEXANDER, C. (1968). La Ciudad como Mecanismo de Sostén para los Contatos Humanos, Cuadernos Summa-Nueva Visión - Enciclopédia de la Arquitectura de Hoy, ano 1, num 9, pp 3-19.
2. ALOUCHE, P.L. (1992). Metrô e Trem: Alternativas Tecnológicas, Revista dos Transportes Públicos ANTP, ano 14, num 56, pp 39-53.
3. ARAUJO, C.A.M. (1989). Sistema "O-Bhan" de Transporte Público, Revista dos Transportes Públicos ANTP, num 45, pp 37-44.
4. BJORKMAN, M. (1991). Community Noise Annoyance: Importance of Noise Levels and the Number of Events, Journal of Noise and Vibration, vol 151, num 3, pp 497-503.
5. BOULDING, K.E. (1974). "Reflections on Planning: The Value of Uncertainty". Technology Review, Outubro/Novembro 1974
6. BUCHANAN, C. (1968). Estudio de Hampshire Sur, La Ciudadada: Problemas de Diseño y Estructura. Espanha, Barcelona: Editorial Gustavo Gili S/A..
7. CAMPOS, L.P.G. et alli (1990). Metrô Rodoviário Prioridade sobre Pneus, Revista Brasileira dos Transportes Públicos ANTP, num 48, pp 71-76.
8. CARNAHAN, B. et alli (1969). "Applied Numerical Methods". New York: John Wiley & Sons.
9. CETESB (1984). " A Participação dos Veículos Automotores na Poluição Atmosférica". Diretoria de Pesquisas, Gerência de Pesquisa de Ar e Ruído, São Paulo, SP.
10. CETESB (1985). " Subsídios Tóxico-Epidemiológicos para a Fixação de Padrões de Qualidade do Ar para Tempos de Exposição não Convencionais". Relatório Interno, Sao Paulo, SP.

11. CETESB (1990). "Estudo de Impacto Ambiental - EIA, Relatório de Impacto Ambiental - RIMA: Manual de Orientação", Secretaria do Meio Ambiente. São Paulo, SP.
12. CETESB (1992). "Relatório da Qualidade do Ar no Estado de São Paulo 1991". São Paulo, SP.
13. CMTTC. Projeto "Ônibus a Gás" na CMTTC. Coordenadoria Geral de Estudos e Controle, Departamento de desenvolvimento de Veículos. São Paulo, SP.
14. COHON, J.L. (1978). "Multiobjective Programming and Planning". New York: Academic Press.
15. COPPE/DENATRAN (1980). "Tráfego e Meio Ambiente", Rio de Janeiro, RJ
16. DERSA e THEMAG ENGENHARIA (1989). "RIMA da Rodovia do Sol". São Paulo: DERSA.
17. DOXIAIS, C.A. (1968). Sobre las Ciudades Lineales, La Ciudad: Problemas de Diseño y Estructura. Espanha, Barcelona: Editorial Gustavo Gili S/A.
18. EBERHARDT, J.L. (1988). The Influence of Road Traffic Noise on Sleep, Journal of Sound and Vibration, vol 127, num 3, pp 449-455.
19. ESTEVES, R. (1985). Uma Contribuição à Avaliação dos Impactos do Sistema de Transporte no Meio Ambiente Urbano com Ênfase para a Intrusão Visual e Segregação Urbana, Tese Ms, PET/COPPE/UFRJ.
20. FEPASA e UMA-H (1992). "RIMA do Trem Metropolitano Campo Limpo - Santo Amaro". São Paulo: FEPASA.
21. FERRARI, C. (1988). "Curso de Planejamento Municipal Integrado". São Paulo, SP: Livraria Pioneira Editora.
22. FIELDS, J.M. WALKER, J.G. (1982). The Response to Railway Noise in Residential Areas in Great Britain, Journal of Sound and Vibration, vol 85, num 2, pp 177-255.
23. GALLÉTY, J.C. (1991). Le Paysage des Entrées de Ville, RTS - Recherche, Transports et Sécurité, dez, num 32, pp. 127-137.
24. GANTMACHER, F.R. (1966). "Théorie des Matrices". Paris: Dunod.

25. GEIPOT/EBTU/DNER/MT (1983). Programa de Interfaces Rodoviárias/Urbanas, INURB versão preliminar.
26. GENT, H.A.V. e NIJKAMP, P. (1988). "Les Transports Collectifs Urbains: Um Defi pour nos Villes". Paris: Ponts et Chaussées.
27. GODARD, X. (1973). "Methodologie de l'Analyse Multicritère Apliquée aux Transports Urbains". Paris: IRT.
28. GOMES, J.L.A.M.(1989). Multicriteria Rank of Urban Transportation System Alternatives, Journal of Advanced Transportation, vol 23, num 1, pp. 43-52.
29. GOMES, J.L.A.M. e LIMA, M.M.P.P. (1991). Evaluating the Environmental Impacts of Roads by a Multicriteria Method, TIMS XXX - SOBRAPO XXIII, Joint International Meeting. Brasil: Rio de Janeiro.
30. GREIN, S. (1984). Metodologia para Consideração dos Impactos das Rodovias no Meio Ambiente Urbano, 10th IRF World Meeting.
31. HAMET, J.F. (1991). Le Bruit de Contact Pneumatique/Chaussée, RTS - Recherche, Transports et Sécurité, dez, num 32, pp.37-44
32. HILL, M. (1973). "Planning for Multiobjective - An approach to the Evaluation of Transportation Plans". Monography, NOS, Regional Science Research Institute, Philadelphia, Pennsylvania.
33. HIMANEN, V. et alli (1992). Environmental Quality and Transport Policy in Europe, Transportation Research A, vol 26A, num 2, pp 147-157.
34. HOUSE, M.E. (1973). Traffic Induced Vibrations in Buildings, The Highway Engineer, The Journal of the Institution of Highway Engineers XX(2).
35. HUTCHINSON, B.G. (1979). "Princípios do Planejamento dos Sistemas de Transporte Urbano". Rio de Janeiro: Guanabara Dois
36. JOUMARD, R. (1991). Caractérisation des Émission Unitaires des Véhicules Légers, RTS - Recherche, Transports, Sécurité, dec 91, num 32, pp 71-80
37. LAMBERT, J. (1991). Quelle Politique pour Lutter contre le Bruit Routier en Zone Urbaine? RTS - Recherche-Transports-Sécurité , num 32, INRETS, França.
38. LAMURE, C.A. (1992). Transport Terrestre et Environment des Villes et des Champs. Transports, julho/agosto, num 354, pp 207-216.

39. LASSIÈRE, A. (1976). "The Environmental Evaluation of Transports Plans". EUA: Grow Copyright .
40. LINDAU, L.A. et alii (1991). Estudo Comparado de Impactos de Diferentes Tecnologias de Transporte, Revista dos Transportes Públicos, ano 12, num 48, pp 51-62.
41. MALCZEWSKI, J. (1991). Central Facility Location and Environmental Health, Environmental and Planning A, 1991, vol 23, pp 385-395.
42. MARCHAND, L. e VIVIER, J. (1987). "Le Service Public des Transports Collectifs Urbains". Methamorphoses de la Ville, Pairs: Econômica.
43. MATSUMURA, Y. e RYLANDER, R. (1991). Noise Sensitivity and Road Traffic Annoyance in a Population Sample, Journal of Sound and Vibration, vol 151, num 3, pp 415-419.
44. MAURIN, M. (1991). Enquête et Campagne de Mesure sur le Bruit de Circulation en France, RTS - Recherche-Transports-Sécurité, num 32, pp19-29.
45. MELO, J.C. (1981). "Planejamento de Transportes Urbanos". Rio de Janeiro, Editora Campus.
46. MELLO, O. e CLICKEVSHY, N. (1980) "Uso do Solo e Transportes Urbanos". Relatório Interno PROPUR (Programa de Pós Graduação em Planejamento Urbano e Regional), UFRGS.
47. MERCEDES-BENZ (1987). "Sistema de Transporte Coletivo Urbano por Ônibus, Planejamento e Operação ". Departamento Sistemas de Trânsito e Transporte Mercedes Benz do Brasil S/A.
48. MERCEDES-BENZ (1989). "Os Veículos Comerciais e o Meio Ambiente". Diretoria de Desenvolvimento Engenharia Experimental. São Paulo, SP.
49. MERLIN, P. (1984). "La Planification des Transports Urbains". Paris: Masson.
50. METRO-SP (1980), "Estudo de Viabilidade Técnico-Econômica-Financeira da Terceira Linha do Metrô de São Paulo". ,São Paulo, SP: Metrô e EMTU.
51. MEYER, M.D. e MILLER, E.J. (1984). "Urban Transportation Planning: A Decision Oriented Approach". New York: McGraw Hill.

52. MILLER, G.A. (1956). The Magical Number Seven Plus or Minus Two: Some Limits on our Capacity for Processing Information, *Psychological Review*, vol 63, pp 81-97.
53. MURGEL, E.M. et alli (1987). Inventário de Emissão Veicular - Metodologia de Cálculo. *Revista de Engenharia Sanitária*, jul/set, num 26(3).
54. MURGEL, E. M. SZWARC. A. (1989). Condições de Tráfeco e a Emissão de Poluentes, *Ambiente*, vol 3, num 1.
55. NOVAES, A.G. (1990). "Sistemas Logísticos". São Paulo: Edgar Blucher.
56. ÖHRSTRÖM, E. et alli (1988). Effects of Night Time Road Traffic Noise an Overview of Laboratory and Field Studies on Noise Dose and Subjective Noise Sensitivity, *Journal of Sound and Vibration*, vol 127, num 3, pp 441-448.
57. ÖHRSTRÖM, E. (1989). Sleep Disturbance, Psycho-Social and Medical Symptoms - A Pilot Survey Among Persons Exposed to High Levels of Roas Traffic Noise, *Journal of Sound and Vibration*, vol 133, num 1, pp 177-128.
58. ÖHRSTRÖM, E. (1991). Psycho-Social Effects of Traffic Noise Exposure, *Journal of Sound and Vibration*, vol 151, num 3, pp 513-517.
59. RYLANDER, R. e BJORKMAN, M. (1988). Maximum Noise Levels as Indicators of Biological Effects, *Journal of Sound and Vibration*, vol 127, num 3, pp 555-563.
60. SAATY, T.L. (1977). A Scaling Method for Priorities in Hierarchical Structures, *Journal of Mathematical Psychology*, num 15, pp 234-281.
61. SAATY, T.L. (1990). "The Analytic Hierarchy Process". Pittsburgh, EUA: RWS Publications.
62. SORENSEN, S. e HAMMAR, N. (1983). Annoyance Reactions Due to Railway Noise, *Journal of Sound and Vibration*, vol 87, num 2, pp 315-319.
63. TIPPLER, P.A. (1978). "Física". Rio de Jenairo: Guanabara Dois.
64. TISSERAND et alli (1991). Impact du Bruit des Trains sur les Riverains. Recherche d'Indicateur Spécifiques, *RTS - Recherche-Transports-Sécurité*, num 32, pp 45-52.
65. VARGAS, L.G. (1990). An Overview of the Analytic Hierarchy Process and Its Applications, *European Journal of Operational Research*, num 48, pp 2-8.

66. VARMA A. et alli (1992). Environmental Considerations of Land Transport in Developing Countries Part 1, Transport Reviews, vol 12, num 2, pp 101-113.
67. VUCHIC, V.R. (1981). "Urban Public Transportation: Systems and Technology". New Jersey: Prentice-Hall.
68. WALLER, R.A. (1969). "Bulging on Spring". London: Pergamon Press.
69. WILKINSON, J.H. (1965). "The Algebraic Eigenvalue Problem". London: Oxford University Press:
70. WINGO, L. (1972). "Transporte y Suelo Urbano". Oikos Tau Ediciones.
71. WRIGHT, C.L. (1989). Aspectos Complementares da Circulação Urbana, Revista dos Transportes Públicos ANTP, ano 11, num 45, pp. 45-64.

X. BIBLIOGRAFIA

1. AHRLIN, U. e ÖHRSTRÖM, E. (1978). Medical Effects of Environmental Noise on Humans, *Journal of Sound and Vibration*, vol 59, num, pp 79-87
2. ALMEIDA, W.E. (1991). Uma Análise Comparativa da Utilização dos Ônibus a Gás Natural e a Óleo Diesel, Tese MSc, PET/COPPE/UFRJ.
3. ALOUCHE, P.L. (1990). A Tecnologia dos Metrô do Mundo, *Revista dos Transportes Públicos ANTP*, ano 12, num 49, pp 43-51.
4. AZIZ, I. J. (1990). Analytic Hierarchy Process in the Benefit-Cost Framework: A Post Evaluation of the Trans-Sumatra Highway Project, *European Journal of Operational Research*, num 48, pp 38-48.
5. BALASSIANO, R. (1991). Alternativas Tecnológicas para Ônibus Urbano: Avaliação do Ônibus a Gás Natural Comprimido, do Troleibus e de seus Impactos Ambientais Atmosféricos, Tese MSc, COPPE/UFRJ.
6. BOLDRINI, C. et alli (1978). "Álgebra Linear". São Paulo: Editora Harper & Row do Brasil Ltda.
7. BUCHANA, C.D. (1963) "El Tráfico em las Ciudades". Madrid: Editôra Tecnos.
8. BRUTON, M.J. (1979). "Introdução ao Planejamento dos Transportes". São Paulo: EEDUSP.
9. CARUSO, A.A.F. (1991). "Contribuição Metodológica para Análise dos Impactos do Sistema de transporte sobre a Estrutura Urbana". Tese MSc, PET/COPPE/UFRJ.
10. CONTI, E.W. e CARVALHO, H. (1988). A Alteração de Combustíveis e a Emissão Veicular, *Ambiente*, vol 2, num 2, pp 91-93.
11. DUPUY, G. (1985). "Systèmes, Reseaux et Territoires". Paris: Ponts et Chaussées.

12. GIANNOPOLUS, G.A. e CURDES, G. (1992). Innovation in Urban Transport and the Influence on Urban Form. A Historical Review, *Transport Review*, vol 12, num 1, pp. 15-32.
13. GOLUB, G. e LOAN, C.F.V. (1989). "Matrix Computations". EUA: The Johns Hopkins University Press.
14. GRIFFITHS, I.D. e RAW, G.J. (1986). Community and Individual Response to Changes in Traffic Noise Exposure, *Journal of Sound and Vibration*, vol 111, num 2, pp 209-217.
15. GRIFFITHS, I.D. e RAW, G.J. (1989). Adaptation to Changes in Traffic Noise Exposure, *Journal of Sound and Vibration*, vol 132, num 2, pp 331-336.
16. HÄMÄLÄINEN, R. e KARJALAINEN R. (1992). Decision Support for Risk Analysis in Energy Policy, *European Journal of Operational Research*, num 56, pp 172-183.
17. JONES, D.M. (1990). Noise, Stress and Human Behaviour. *Environmental Health*, Aug 90, pp 206-208.
18. LANGDON, F.J. e GRIFFITHS, I.D. (1982). Subjective Effects of Traffic Noise Exposure, II: Comparison of Noise Indices, Response Scales, and the Effects of Change in Noise Levels, *Journal of Sound and Vibration*, vol 83, num 2, pp 171-180.
19. LEMAITRE, G. (1992). Routes et Villes: Vers une Harmonisation de la Mesure de Traffic? *RTS - Recherche, Transport et Sécurité*, num 33, pp 61-69.
20. LEWIS, S. et alli (1990). Comprehensive Transportation Models: Past, Present and Future, *Transportation Quarterly*, vol 44, num 2, abril 1990, pp 259-265.
21. MANHEIN, M.L. (1979). "Fundamentals of Transportation Systems Analysis". London: MIT Press.
22. MELO, J.C. (1975). "Planejamento de Transportes". Rio de Janeiro: Editora Campus
23. MORLOK, E.K. (1978). "Introduction to Transportation Engineering and Planning". New York: McGraw Hill.
24. RYLANDER, R. e DUNT, D.R. (1991). Traffic Noise Exposure Planning: A Case Application, *Journal of Sound and Vibration*, vol 151, num 3, pp 535-541.

25. SAATY, T.L. e ACZÉL, J. (1983). Procedure for Synthesizing Ratio Judgements, *Journal of Mathematical Psychology*, num 27, pp. 9-102.
26. SAATY, T.L. (1984). Inconsistency and Rank preservation, *J. of Mathematical Psychology*, num 28, pp 205-214.
27. SAATY, T.L. e VARGAS, L.C. (1987). Stimulus-Response with Reciprocal Kernels: The Rise and Fall Sensation, *Journal of Mathematical Psychology*, num 31, pp. 83-92.
28. SAATY, T.L. (1990). How to Make a Decision: The Analytic Hierarchy Process, *European Journal of Operational Research*, num 48, pp 9-26.
29. SAATY, T.L. (1990). "The Analytic Hierarchy Process for Decisions in a Complex World". EUA, Pittsburgh: University of Pittsburgh.
30. SCHAEFER, M. (1991). "Combating Environmental Pollution". Genebra, Suíça: World Health Organization.
31. SEVERS, R. K. (1981). "Environmental and Health". EUA: Norman M. Trieff, Ann Arbor Science publishers Inc.
32. VERNET, M. (1979). Effects of Train Noise on Sleep for People Living in Houses Boedering the Railway Line, *Journal os Sound and Vibration*, vol 66, num 3, pp 483-492.
33. VERNET, M. (1983). Comparision Between Train Noise and Road Noise Annoyance during Sleep, *Journal of Sound and Vibration*, vol 87, num 2, pp 331-335.
34. VIA URBANA (1991), Programa do Gás Sai do Chão, num 2, pp 22-25.
35. VIA URBANA (1992), Diesel Ecológico, vol 11, pp 10-11.

ANEXO 1

PROPRIEDADES E CARACTERÍSTICAS DO SOM

O som é uma onda mecânica, harmônica e longitudinal. Sendo assim, necessita de um meio para se propagar e propaga-se somente em uma direção. Tem uma função senoidal e não apresenta dispersão, pode, apenas ocorrer uma diminuição da amplitude.

Uma importante propriedade da onda é o transporte de energia que é descrito pela intensidade da onda (I), definida como a energia média incidente por unidade de tempo e por unidade de área, cuja unidade é $0 \text{ w} / \text{m}^2$.

$$I = (\Delta E / \Delta t) / A$$

Apesar do ouvido humano ser sensível a uma grande faixa de intensidade de som, o limiar da percepção acústica corresponde a intensidade de $10^{-12} \text{ w} / \text{m}^2$ e o limite da dor $1 \text{ w} / \text{m}^2$.

1. A ESCALA EM DECIBÉIS

Observou-se que a sensação da intensidade sonora apresenta um fator psicológico e varia, aparentemente, logaritmicamente (Tipple, 1978). Devido a esta fenômeno criou-se uma escala logarítmica para descrever o nível de intensidade sonora (β), medida em *decibéis* (dB) e definida por :

$$\beta = 10 * \log I/I_0 \quad (1)$$

onde

β : intensidade do som em dB

I: intensidade correspondente ao nível β

I_0 : intensidade no limiar da audição, 10^{-12} w / m².

2. INTENSIDADE DE SOM RESULTANTE DE VÁRIAS FONTES

Como a intensidade de som é medida em uma escala logarítmica ao somar-se, duas ou mais fontes, a resultante não é a soma linear. Por exemplo, se forem duas fontes de mesma intensidade haverá um acréscimo total, em relação a cada uma, individualmente, de apenas 3 dB, independentemente da intensidade da fonte.

Sejam n fontes com intensidades sonoras I_1, I_2, \dots, I_n , emitindo V_1, V_2, \dots, V_n dB respectivamente, então de acordo com (1)

$$V_1 = 10 * \log (I_1/I_{ref}) \quad (2)$$

onde I_{ref} é o índice de referência do som, normalmente correspondente a intensidade do limiar da dor;

e, I_{res} a intensidade de som resultante, β o nível de som em dB. Ao somar-se várias fontes tem-se:

2.1 n Fontes de Mesma Intensidade

$$V_1 = V_2 = \dots = V_n \text{ e } I_1 = I_2 = \dots = I_n$$

então

$$I_{res} = n * I_1$$

e

$$\beta = 10 * \log (nI_1/I_{ref})$$

$$\beta = 10 * \log(I_1/I_{ref}) + 10 * \log (n) \quad (3)$$

substituindo (2) em (3)

$$\beta = V_1 + 10 * \log (n) \quad (4)$$

De acordo com a equação (4) obtem-se a tabela 1, que nos fornece o acréscimo total em função da soma de várias fontes de mesma intensidade de som.

NÚMERO DE FONTES	INTENSIDADE RESULTANTE
	EM dB
2	$V_1 + 3.01$
3	$V_1 + 4.7$
4	$V_1 + 6.02$
⋮	⋮
10	$V_1 + 10.00$
⋮	⋮
15	$V_1 + 11.76$

TABELA 1: INTENSIDADE DE SOM RESULTANTE DA SOMA DE VÁRIAS FONTES IGUAIS

2.2 Duas Fontes de Intensidade Diferentes

Seja I_2 x % superior à I_1 .

então

$$I_{res} = (2 + x/100) * I_1$$

$$I_{res} = (200 + x) / 100 * I_1$$

e

$$\beta = 10 * \log(((200 + x) / 100 * I_1) / I_{ref})$$

$$\beta = 10 * \log(I_1 / I_{ref}) + 10 * \log((200 + x) / 100) \quad (5)$$

Da equação (5) obtem-se a tabela 2.

PORCENTAGEM DE ACRÉSCIMO (X %)	INTENSIDADE DE SOM RESULTANTE (EM dB)
1	$V_1 + 3.03$
2	$V_1 + 3.05$
5	$V_1 + 3.11$
10	$V_1 + 3.22$
15	$V_1 + 3.32$
20	$V_1 + 3.42$
40	$V_1 + 3.80$
60	$V_1 + 4.14$
80	$V_1 + 4.47$
100	$V_1 + 4.77$

TABELA 2: INTENSIDADE DE SOM RESULTANTE DA SOMA DE DUAS FONTES DE DIFERENTES INTENSIDADES DE SOM

3. DISTÚRBO PROVOCADO DEVIDO AO AUMENTO DA INTENSIDADE DE SOM

Seja uma fonte A de intensidade I_1 , emitindo β_1 dB. Ao aumentar-se a intensidade I_1 , o aumento de β_1 será dado de acordo com uma escala logarítmica.

Suponhamos que aumentou-se I_1 em x %, então de acordo com as equações (2) e (5) a intensidade de som resultante (β) será:

$$\beta = 10 * \log\left(\frac{(100 + x) / 100 * I_1}{I_{ref}}\right)$$

$$\beta = V_1 + 10 * \log\left(\frac{(100 + x)}{100}\right) \quad (6)$$

então se a intensidade de uma fonte for aumentada em 10 %, 20 %, ou 50 %, o aumento de β será de 0.4, 0.6 e 1.8 dB respectivamente.

Efetuando o raciocínio ao contrário. Se o nível de ruído for aumentado em y dB o aumento da intensidade da fonte será:

da equação (1) tem-se:

$$I_{res} = I * \exp(y/10) \quad (7)$$

onde

I_{res} : intensidade de som resultante

I : intensidade original da fonte

portanto ao aumentar-se o nível de ruído em 1 dB a intensidade sonora tem um acréscimo de $1,25 \text{ w} / \text{m}^2$, quase imperceptível. Já ao aumentar-se 10 dB tem-se um aumento de intensidade de som de $10 \text{ w} / \text{m}^2$, o que é subjetivamente julgado como a sensação de uma duplicação do nível sonoro, (Lassière, 1976).

4. ATENUAÇÃO DO NÍVEL DE RUÍDO DEVIDO A DUPLICAÇÃO DA DISTÂNCIA

Seja uma fonte emitindo uma intensidade de som I_1 à distância r_1 e, I_2 à distância r_2 , onde $r_2 = 2 * r_1$. A redução do nível de ruído de r_1 para r_2 será:

4.1 Fontes Pontuais

A intensidade de energia I_1 será irradiada na esfera de raio r_1 e área $4 \Pi r_1^2$, e I_2 na esfera de raio r_2 e área $4 \Pi r_2^2$. Como a energia é proveniente de uma única fonte a energia irradiada na esfera um é a mesma da esfera dois, logo

$$4 \Pi r_1^2 I_1 = 4 \Pi r_2^2 I_2$$

mas

$$r_2 = 2 * r_1$$

então

$$4 \Pi r_1^2 I_1 = 4 * 4 \Pi r_1^2 I_2$$

e

$$I_2 = I_1/4 \quad (8)$$

Sejam β_1 e β_2 os níveis de energia em r_1 e r_2 respectivamente β_1 e β_2 , então de acordo com (2)

$$\beta_1 = 10 * \log(I_1/I_{ref})$$

e

$$\beta_2 = 10 * \log(I_2/I_{ref})$$

de (8)

$$\begin{aligned}\beta_2 &= 10 \cdot \log(I_1/I_{\text{ref}}) - 10 \log(4) \\ \beta_2 &= (\beta_1 - 6) \text{ dB}\end{aligned}\quad (9)$$

4.2 Fontes Lineares

Nas fontes lineares a única diferença é que a propagação do som ocorre em um cilindro, ao invés de uma esfera. Através de um cálculo análogo obtem-se:

$$2 \Pi r_1 I_1 = 2 \Pi r_2 I_2$$

$$2 \Pi r_1 I_1 = 2 * 2 \Pi r_1 I_2$$

então

$$I_2 = I_1/2$$

e

$$\beta_2 = 10 \cdot \log(I_2/I_{\text{ref}})$$

$$\beta_2 = 10 \cdot \log((I_1/2)/I_{\text{ref}})$$

$$\beta_2 = \beta_1 - 10 \cdot \log(2)$$

portanto

$$\beta_2 = (\beta_1 - 3) \text{ dB}\quad (10)$$

Ao dobrar-se a distância do receptor à fonte a redução do nível de ruído será de 6 dB para fontes pontuais e de 3 dB para lineares.

ANEXO II - ESTUDO DE CASO

ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICO-ECONÔMICO-FINANCEIRA DA TERCEIRA LINHA DO METRÔ - SP

Com a finalidade de implantar mais uma linha de metrô em São Paulo, foi efetuado um estudo de viabilidade entre duas alternativas: as linhas Paulista e Sudeste-Sudoeste

A linha Paulista, que originalmente se estenderia das Clínicas à Oratório, cortando os bairros Cerqueira César, Aclimação, Vila Mariana, Saúde, Ipiranga e Vila Prudente, mais tarde foi ampliada até a Vila Madalena. Teria 15,6 Km de extensão, 13 estações e um custo previsto de 2,6 bilhões de cruzeiros por km totalizando 40.660 milhões de cruzeiros (valores de janeiro de 1980). Estimou-se que quando a linha estivesse totalmente implantada (1990) ele transportaria 750 mil passageiros por dia.

A linha Sudeste-Sudoeste ligaria o Bairro de Três Poderes ao Parque Pedro II, passando pelo Butantã, Pinheiros, Cerqueira César, Consolação, Luz e Brás. Teria 13,3 Km de extensão, 14 estações e um custo previsto de 3,6 bilhões de cruzeiros por Km totalizando 48.089 milhões. Em 1990 deveria transportar 940 mil passageiros por dia.

Fez-se um breve resumo do processo de seleção descrito no estudo efetuado pelo METRO-SP (1990). Abordou-se a metodologia utilizada, os objetivos do estudo e os critérios considerados mais relevantes na seleção da alternativa.

1. METODOLOGIA

A metodologia adotada no referido estudo envolveu quatro etapas:

- caracterização das alternativas metroviárias
- identificação dos impactos

- avaliação das alternativas
- conclusão e recomendação para implantação

2. OBJETIVOS DO PLANEJAMENTO

Os quatro objetivos foram definidos com base na análise de estudos e documentos sobre transporte da Região Metropolitana de São Paulo e a partir das metas estabelecidas pelos governos federal, estadual e municipal.

2.1 Aumentar a Eficiência dos Serviços de Transporte Urbano:

- reduzir o tempo de viagem dos usuários de transporte público
- promover a integração dos transportes públicos e particulares
- melhorar o nível de serviços dos transportes públicos
- promover maior utilização dos transportes públicos em relação ao particular
- facilitar o acesso ao transporte público
- otimizar o desempenho dos transportes públicos

2.2. Melhorar as Condições de Vida da População

- reduzir o custo de viagem para a população de baixa renda
- evitar distúrbios à população na fase de construção
- ampliar benefícios sociais através da melhoria do transporte público
- promover redistribuição de renda através da racionalização dos gastos em transporte
- reduzir distúrbios à população devido a desapropriações
- reduzir impactos ambientais na construção e operação do metrô
- promover economia de tempo nos deslocamentos
- reduzir os níveis de poluição sonora, atmosférica e visual

2.3. Ordenar o Crescimento Urbano da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP)

- disciplinar o crescimento metropolitano
- evitar dispersão da população
- evitar a expansão da área urbanizada em direção às áreas de proteção dos mananciais
- promover melhor distribuição territorial da população e empregos aproximando locais de residência e trabalho
- promover uma urbanização planejada e integrada
- favorecer a expansão da cidade no sentido leste-oeste
- consolidar os subcentros de atividades terciárias
- otimizar a ocupação do solo metropolitano

2.4. Contribuir para o Desenvolvimento Econômico e Ampliar a Autonomia Energética do País

- expandir as atividades econômicas da metrópole
- maximizar a utilização dos investimentos públicos e privados já existentes
- otimizar o uso de recursos financeiros
- expandir a atividade comercial na área de abrangência da linha
- melhorar a acessibilidade às viagens dirigidas às áreas comerciais
- acentuar a tendência comercial de áreas tradicionalmente ocupadas por este uso
- promover maior número de empregos na construção civil
- incentivar a industrialização e a nacionalização de equipamentos e sistemas de transportes
- melhorar a distribuição de renda à população
- promover o desenvolvimento científico e tecnológico no campo de transporte público
- reduzir o consumo de combustíveis derivados do petróleo
- incentivar a utilização da energia elétrica

3. CRITÉRIOS DE SELEÇÃO

Definiu-se nove critérios básicos com a finalidade de avaliar o quanto os objetivos foram satisfeitos. Estes critérios foram hierarquizados em 3 níveis em função do número de objetivos atendidos

Primeiro Nível:

- Atender a demanda
- Eficiência econômica

Segundo Nível:

- Tempo de viagem no sistema de transporte
- Desapropriações
- Intensidade no uso do solo metropolitano

Terceiro Nível

- Economia de tempo para a população de baixa renda
- Emissão de poluentes
- Valorização dos terrenos
- Economia de combustível

A figura 1 mostra um esquema básico de avaliação, relacionando os objetivos e os critérios segundo a hierarquia adotada.

4. PROCESSO DE AVALIAÇÃO

O processo de avaliação envolveu o levantamento de dados, a projeção para um horizonte de dez anos e a análise de efeitos que a construção do metrô pode causar sobre o sistema de transporte, o uso do solo e as características sócio-econômicas da região, além das alternativas metroviárias. Também priorizou-se um traçado que não enfatizasse o padrão rádio-concêntrico da cidade.

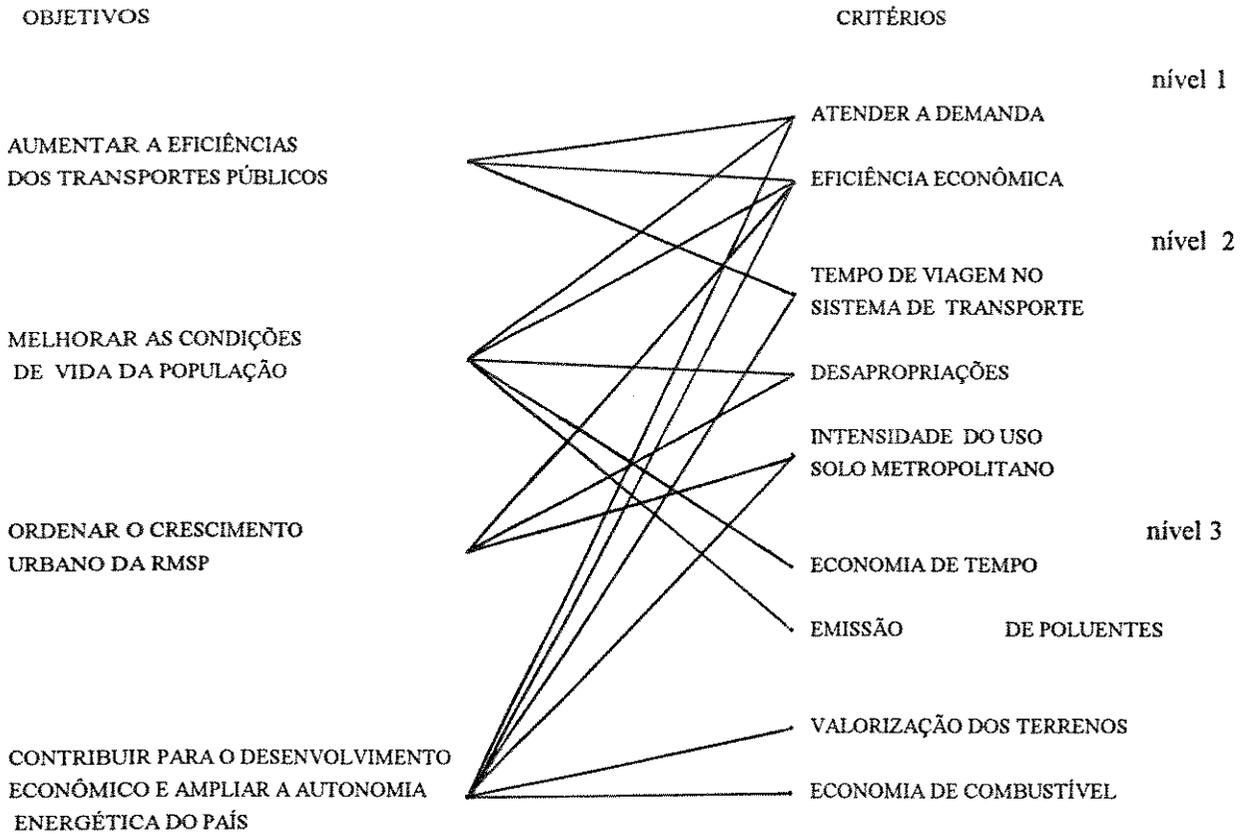


FIGURA 1: ESQUEMA BÁSICO DE AVALIAÇÃO
 FONTE: METRO-SP (1980), ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICO-ECONÔMICO-FINANCEIRA DA TERCEIRA LINHA DO METRÔ

O estudo das alternativas metroviárias consiste nas características físico-operacionais das alternativas o qual envolveu o projeto das estações e plataformas, equipamentos operacionais e de segurança, material rodante, sistema de sinalização e controle dos trens, sistema de alimentação elétrica entre outros aspectos técnicos. Também avaliou-se o custo de cada alternativa em relação aos equipamentos e às obras necessárias a sua implantação de acordo com as características topográficas, geodésicas e físico-operacionais.

As características do uso e ocupação do solo bem como os impactos decorrentes foram avaliados ao nível da estrutura urbana e da área de influência imediata. De acordo com as tendências urbanas negativas, determinaram-se diretrizes que minimizem estas tendências. Analisaram-se os efeitos da implantação do metrô sobre a estrutura urbana, uso e ocupação do solo, sistema de circulação, centros de serviço e comércio e a valorização imobiliária.

A fim de se estimar o aumento da acessibilidade, a redução do custo e tempo de deslocamento, efetuou-se um levantamento da malha viária principal, do fluxo de ônibus nos principais "corredores" e as principais vias de acesso utilizadas pelos veículos. Também analisou-se o sistema de transporte público (ônibus, metrô, ferrovia) e propôs-se um sistema de integração. Projetou-se a demanda futura de acordo com dados sócio-econômicos e a demanda atual.

Para a análise dos aspectos sócio-econômicos, traçou-se o perfil da população que reside e/ou trabalha na área de abrangência. Avaliou-se a densidade habitacional e de empregos, a renda da população, o setor de atividades (primário, secundário, terciário), a variação horária da densidade populacional e as viagens efetuadas (motivo, tempo de deslocamento, modo, origem e destino).

5. SELEÇÃO DA ALTERNATIVA

A seleção da alternativa que mais atendeu aos objetivos do estudo foi baseada na comparação dos critérios utilizados. Para se avaliar os critérios, estabeleceram-se indicadores que permitam a mensuração dos objetivos.

O indicador utilizado para se avaliar o atendimento da demanda foi o número de passageiros transportados por cruzeiro investido.

A eficiência econômica foi ponderada através da taxa de retorno. Sua avaliação baseia-se em uma análise custo/benefício. Os benefícios foram considerados tanto para o usuário, em função da economia de tempo proporcionada pela nova linha do metrô, como para o operador, que terá uma variação no lucro operacional.

O tempo de viagem de cada alternativa foi calculado em função da economia de tempo resultante da nova alternativa e do valor do investimento necessário a sua implantação. Analisou-se separadamente a economia de tempo para a população de baixa renda (renda média familiar inferior a cinco salários-mínimos).

As desapropriações foram medidas em função do número de famílias desapropriadas.

A economia de combustível teve como indicador a variação no consumo pelos ônibus em decorrência da implantação de uma nova linha de metrô. A emissão de poluentes foi avaliada pelo mesmo critério: a redução dos poluentes mais nocivos a saúde.

O uso e ocupação do solo foi o critério que envolveu o maior número de indicadores. São eles: incremento na ocupação de áreas livres na RMSP, incremento na área construída na RMSP, intensidade de urbanização no sentido leste-oeste, estímulo à ocupação e ao adensamento. Calculou-se a valorização dos terrenos através da estimativa do aumento dos valores reais em função da implantação do metrô.

A figura 2 mostra um resumo dos critérios e indicadores com seus respectivos valores.

De acordo com os indicadores e os objetivos adotados pela Cia Metropolitana do Metrô, optou-se pela construção da Linha Paulista.

CRITÉRIOS	INDICADORES	PAULISTA	SE-SO
EFICIÊNCIA ECONÔMICA	TAXA DE RETORNO	10,9	6,5
DEMANDA ATENDIDA	PASS. TRANSPORTADOS POR CRUZEIRO INVESTIDO	3.524	3.505
TEMPO DE VIAGEM	ECONOMIA DE TEMPO POR CRUZEIRO INVESTIDO	3,98	2,56
DESAPROPRIAÇÕES	NÚMERO DE FAMÍLIAS DESAPROPRIADAS	730	500
INTENSIDADE DO USO DO SOLO	INCREMENTO NA OCUPAÇÃO DE ÁREAS LIVRES (%)	8	7,5
	INCREMENTO DE ÁREA CONSTRUÍDO (%)	33	22
ECONOMIA DE COMBUSTÍVEL	REDUÇÃO NO CONSUME DE COMBUSTÍVEL NOS ÔNIBUS (%)	3,0	4,0
ECONOMIA DE TEMPO	ECONOMIA DE TEMPO (MILHÕES DE HORAS/ANO)	121	84
VALORIZAÇÃO DOS TERRENOS	INCREMENTO NO VALOR REAL DOS TERRENOS (Cr\$ MILHÕES)	16.710	16.380
EMISSÃO DE POLUENTES	REDUÇÃO DE POLUENTE (%)	2,8	3,9

FIG 2: PRINCIPAIS INDICADORES UTILIZADOS NA SELEÇÃO DE ALTERNATIVAS
 FONTE: METRO-SP (1980), ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICO-ECONÔMICO-FINANCEIRA
 DA TERCEIRA LINHA DE METRÔ