

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS  
DEPARTAMENTO DE TRANSPORTES

# **Análise de Sistemas de transporte**

2ª edição, revisada e aumentada

Eiji Kawamoto

eesc - usp

LA

São Carlos, agosto de 2015  
reimpressão  
código 05032

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS  
DEPARTAMENTO DE TRANSPORTES

# **Análise de Sistemas de transporte**

2ª edição, revisada e aumentada



Eiji Kawamoto

São Carlos, agosto de 2015

## **Agradecimento**

O autor agradece a todos aqueles que, de uma forma ou de outra, contribuíram para que esta edição pudesse sair melhor do que a anterior. Em especial, o autor deseja deixar aqui registrado o agradecimento à *Economista Iêda Maria de Oliveira Lima*, do IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, e ao *Prof. Dr. Antônio Nelson Rodrigues da Silva*, do Departamento de Transportes da EESC-USP, pela revisão do texto e importantes sugestões. Os erros e os pontos mal-explicados, ainda remanescentes, são devidos ao descuido ou à teimosia do autor.

Eiji

---

# SUMÁRIO

---

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1. Transporte e sociedade .....</b>   | <b>1</b>  |
| 1.1. Introdução.....   | 1         |
| 1.2. Transporte e desenvolvimento econômicos .....   | 2         |
| 1.2.1. Custo de transporte como determinante de consumo.....                                 | 2         |
| 1.2.2. Transporte e produção.....  | 3         |
| 1.2.3. Transporte e produtos perecíveis .....  | 4         |
| 1.2.4. Transporte e localização das atividades.....  | 4         |
| 1.2.5. O transporte como instrumento de distribuição de renda .....                          | 5         |
| 1.3. Aspectos sociais dos transportes.....   | 5         |
| 1.3.1. Transporte e sociedade rural .....  | 6         |
| 1.3.2. O papel do transporte numa sociedade urbana.....                                      | 6         |
| 1.4. Aspectos políticos de transporte .....  | 11        |
| 1.5. Transporte e os aspectos ambientais .....   | 12        |
| 1.5.1. Poluição .....  | 13        |
| 1.5.2. Uso do Solo .....   | 13        |
| <b>2. Análise de sistemas de transporte.....</b>   | <b>15</b> |
| 2.1. Introdução.....   | 15        |
| 2.1.1. Definições .....  | 15        |
| 2.1.2. Enfoque sistêmico aplicado à análise e ao planejamento de sistemas de transporte..... | 17        |
| 2.2. Metodologia para análise de sistema de transporte .....                                 | 18        |
| 2.2.1. Inventários.....  | 19        |
| 2.2.2. Diagnóstico .....   | 20        |
| 2.2.3. Definição de políticas, objetivos e critérios.....                                    | 20        |
| 2.2.4. Análise institucional e financeira .....  | 20        |
| 2.2.5. Análise de demanda por transporte .....   | 21        |

|   |           |
|---|-----------|
| 2.2.6. Análise de oferta de transporte.....   | 21        |
| 2.2.7. Previsão de movimentos interzonais (equilíbrio demanda-oferta).....          | 21        |
| 2.2.8. Melhoramento físico dos componentes e aumento da eficiência operacional..... | 22        |
| 2.2.9. Futura opção modal.....  | 22        |
| 2.2.10. Identificação de futura deficiência de transporte.....                      | 22        |
| 2.2.11. Geração, análise e avaliação de alternativas para corredores críticos.....  | 23        |
| 2.2.12. Geração, análise e avaliação de alternativas para o sistema de transporte.. | 24        |
| 2.3. O Plano.....   | 25        |
| 2.4. Conclusão.....   | 27        |
| <b>3. Demanda por transportes.....</b>  | <b>29</b> |
| 3.1. Introdução.....  | 29        |
| 3.2. Análise de demanda por transporte.....   | 29        |
| 3.3. Uma teoria sobre o comportamento do usuário de transporte.....                 | 31        |
| 3.4. Estimação de modelos de demanda.....   | 33        |
| 3.4.1. Estimação de um modelo de demanda.....                                       | 34        |
| 3.4.2. Projeção da demanda com modelos matemáticos.....                             | 35        |
| 3.5. Curva de demanda de mercado.....   | 36        |
| 3.6. Elasticidade da demanda.....   | 38        |
| 3.6.1. Métodos de estimação de elasticidades.....                                   | 38        |
| 3.6.1.1. Métodos diretos.....   | 39        |
| 3.6.1.2. Métodos indiretos.....   | 40        |
| 3.6.2. Elasticidade da demanda em relação a preço: uma medida de rentabilidade..... | 42        |
| 3.7. Acurácia nas previsões.....  | 42        |
| 3.8. Modelos Seqüenciais.....   | 43        |
| 3.8.1. Geração e atração de viagens.....  | 44        |
| 3.8.2. Distribuição de viagens.....   | 45        |
| 3.8.2.1. Modelo de Fratar.....  | 46        |
| 3.8.2.2. Propriedades básicas de modelos de distribuição de viagens.....            | 48        |
| 3.8.2.3. Modelos de gravidade.....  | 49        |
| 3.8.2.4. Modelos entrópicos.....  | 50        |
| 3.8.3. Divisão modal.....   | 52        |
| 3.8.3.1. Um modelo agregado para divisão modal.....                                 | 53        |
| 3.8.3.2. Modelo Logit Multinomial (MLM).....  | 54        |
| 3.9. Dados auxiliares para a elaboração de matriz origem/destino.....               | 58        |
| 3.9.1. Pesquisa origem-destino nas linhas de transporte coletivo.....               | 58        |
| <b>4. Custos de transporte.....</b>   | <b>63</b> |
| 4.1. Introdução.....  | 63        |
| 4.2. Função produção.....   | 64        |
| 4.2.1. Unidades de produção.....  | 65        |
| 4.3. Função custo.....  | 66        |
| 4.3.1. Custos fixos, custos variáveis e prazo de produção.....                      | 66        |
| 4.3.2. Custos unitários.....  | 67        |
| 4.3.2.1. Custo variável médio.....  | 67        |
| 4.3.2.2. Custo fixo médio.....  | 68        |

---

|  |            |
|--|------------|
| 4.3.2.3. Custo total médio.....  | 68         |
| 4.3.2.4. Custo marginal.....   | 68         |
| 4.3.3. Tipos de função custo usados em transporte.....                                     | 68         |
| 4.3.3.1. Função custo de uma variável.....   | 69         |
| 4.3.3.2. Função custo de duas variáveis.....   | 69         |
| 4.3.3.3. Função custo de três ou mais variáveis.....                                       | 71         |
| 4.4. Custos de uma empresa de transporte.....  | 71         |
| 4.4.1. Mão de obra.....  | 71         |
| 4.4.2 Capital.....   | 72         |
| 4.4.2.1 Depreciação.....   | 72         |
| 4.4.2.2. Remuneração do capital.....   | 74         |
| 4.5. Estimativas de custos.....  | 74         |
| 4.5.1. Modelos estatísticos.....   | 75         |
| 4.5.2. Método dos custos unitários.....  | 76         |
| 4.5.2.1. Estimativa do custo de implantação.....   | 77         |
| 4.5.2.2. Estimativa do custo de conservação e manutenção da via.....                       | 80         |
| 4.5.2.3. Estimativa do custo operacional.....  | 82         |
| 4.6. Custo operacional de veículos que trafegam numa determinada rodovia.....              | 94         |
| <b>5. Oferta de transportes.....</b>   | <b>97</b>  |
| 5.1. Introdução.....   | 97         |
| 5.2. Oferta de transporte.....   | 98         |
| 5.3. Função oferta.....  | 101        |
| 5.3.1. Função custo ao usuário.....  | 101        |
| 5.3.2. Função oferta.....  | 102        |
| 5.3.3. Oferta na ligação e oferta no sistema.....  | 103        |
| 5.3.4. Nível de serviço.....   | 104        |
| 5.3.4.1. Variáveis que determinam o nível de serviço em transporte de passageiros.....     | 105        |
| 5.3.4.2. Variáveis que determinam o nível de serviço e custo no transporte de carga.....   | 107        |
| 5.4. Relação entre atributos do nível de serviço e custo em transporte de passageiros..... | 109        |
| 5.4.1. Número de veículos alocados para a rota na hora pico.....                           | 109        |
| 5.4.2. Quilometragem percorrida pelos veículos da rota.....                                | 110        |
| 5.4.3. Horas de veículos em operação.....  | 111        |
| 5.4.4. Custo em função de alguns atributos do nível de serviço.....                        | 111        |
| 5.5. Relação entre atributos do nível de serviço e o custo de transporte de carga.....     | 112        |
| 5.6. Funções de oferta selecionadas.....   | 115        |
| 5.6.1. Transporte rodoviário urbano individual.....  | 116        |
| 5.6.2. Função oferta de transporte urbano por ônibus.....                                  | 118        |
| 5.6.3. Função oferta de transporte aéreo.....  | 119        |
| <b>6. Equilíbrio entre demanda e oferta.....</b>   | <b>123</b> |
| 6.1. Introdução.....   | 123        |
| 6.2. Teoria sobre o equilíbrio entre demanda e oferta.....                                 | 123        |
| 6.2.1 Enfoque microeconômico de equilíbrio.....  | 123        |
| 6.2.2. Nível de serviço na análise de equilíbrio.....                                      | 124        |
| 6.3. Construção das curvas de demanda e oferta.....  | 126        |

|  |            |
|--|------------|
| 6.4. Equilíbrio em rede .....  | 128        |
| 6.4.1. Conceitos .....   | 128        |
| 6.4.2. Pistas simples.....   | 128        |
| 6.4.3. Duas rodovias ligando dois pontos.....  | 129        |
| 6.4.4. Duas rotas alternativas entre duas zonas de tráfego .....                                   | 131        |
| 6.4.5. Equilíbrio entre dois modos utilizando uma mesma via.....                                   | 132        |
| 6.5. Equilíbrio em rede .....  | 133        |
| 6.5.1. Técnica do caminho mínimo.....  | 134        |
| 6.5.2. Método de alocação tudo-ou-nada.....  | 138        |
| 6.5.3. Método de alocação com restrição de capacidade .....  | 139        |
| 6.5.4. Representação gráfica da alocação de tráfego na rede .....                                  | 141        |
| 6.6. Custo e benefício na situação de equilíbrio.....  | 141        |
| <b>7. Tarifação em transporte .....</b>  | <b>145</b> |
| 7.1. Introdução.....   | 145        |
| 7.2. Pontos de vista na tarifação .....  | 145        |
| 7.3. Tarifação do ponto de vista do operador de transporte .....                                   | 146        |
| 7.3.1. Tarifação pelo custo médio .....  | 148        |
| 7.3.1.1. Tarifação por custo médio em transporte rodoviário de carga.....                          | 148        |
| 7.3.1.2. Tarifação por custo médio em transporte público de passageiros por<br>ônibus.....         | 152        |
| 7.3.1.3. Tarifação pelo custo médio aplicável à alocação de custo<br>rodoviários indivisíveis..... | 152        |
| 7.3.2. Tarifação pelo valor do serviço .....   | 153        |
| 7.3.3. Tarifação pelo custo marginal. ....   | 154        |
| 7.3.3.1. Custo marginal com discriminação de preços.....   | 154        |
| 7.4. Tarifa como instrumento para disciplinar o uso da infra-estrutura.....                        | 155        |
| 7.4.1. Discussões sobre as diferentes políticas de tarifação por custo marginal<br>social.....     | 157        |
| <b>8. Impactos ambientais .....</b>  | <b>159</b> |
| 8.1. Introdução.....   | 159        |
| 8.2. Impactos sobre o ambiente natural.....  | 160        |
| 8.2.1. Poluição sonora .....   | 160        |
| 8.2.1.1. Método de previsão de ruído.....  | 163        |
| 8.2.1.2. Custo de barreiras de proteção contra ruídos.....   | 178        |
| 8.2.2. Poluição do ar .....  | 179        |
| 8.2.2.1 poluentes .....  | 179        |
| 8.2.2.2 Padrões de qualidade do ar ambiente.....   | 182        |
| 8.2.2.3. Emissão de poluentes por veículos rodoviários em marcha .....                             | 183        |
| 8.2.2.2. Modelo de previsão .....  | 184        |
| a) material particulado .....  | 184        |
| b) Monóxido de carbono.....  | 185        |
| 8.2.3. Capacidade ambiental de ruas .....  | 185        |
| 8.3. Impactos sobre valor e uso do solo.....   | 185        |
| 8.3.1. Impacto da desapropriação .....   | 186        |
| 8.3.2. Valorização imobiliária .....   | 186        |

---

|   |            |
|---|------------|
| 8.3.4. Modelo de impacto do transporte coletivo .....                                       | 188        |
| 8.3.5. Reorganização espacial .....   | 190        |
| 8.3.6. Efeitos de desenvolvimento regional .....  | 191        |
| <b>9. Avaliação de projetos de transporte.....</b>  | <b>193</b> |
| 9.1. Introdução.....  | 193        |
| 9.2. Noções básicas de matemática financeira .....  | 194        |
| 9.2.1. Conceitos .....  | 194        |
| 9.3. Definição do ponto de vista do analista.....   | 197        |
| 9.4. Identificação e classificação de impactos.....   | 199        |
| 9.4. Estimativa de Benefícios de projetos de transporte.....                                | 201        |
| 9.4.1. Benefícios de um projeto de transporte .....   | 202        |
| 9.4.2. Benefícios anuais do melhoramento de um sistema de transporte.....                   | 205        |
| 9.4.3. Outros benefícios de transporte.....   | 206        |
| 9.5. Custo econômico (ou social) .....  | 207        |
| 9.6. Análise benefício-custo para alternativas mutuamente exclusivas.....                   | 209        |
| 9.6.1. Princípios básicos subjacentes à análise benefício-custo.....                        | 210        |
| 9.6.1.1. Horizonte de projeto ou período de análise.....                                    | 210        |
| 9.6.1.2. Custo de oportunidade de capital ou taxa de retorno de mínima<br>atratividade..... | 211        |
| 9.6.2. Métodos de análise benefício-custo.....  | 211        |
| 9.6.2.1. Valor Presente Líquido .....   | 212        |
| 9.6.2.4. Razão Benefício-Custo.....   | 212        |
| 9.6.2.2. Razão Benefício-Custo Incremental.....   | 213        |
| 9.6.2.3. Taxa Interna de Retorno .....  | 215        |
| 9.6.2.4. Taxa interna de Retorno Incremental.....   | 215        |
| 9.7. Método de avaliação e seleção multi-objetivos e multi-critérios.....                   | 220        |
| <b>Referências bibliográficas.....</b>  | <b>223</b> |



---

# 1. TRANSPORTE E SOCIEDADE

---

## 1.1. Introdução

Vamos iniciar a discussão sobre transporte e sociedade a partir da relação do homem com o transporte. O homem sente necessidades e desejos, tanto biológicos quanto psicológicos. Quando acontece isso, ele procura ao seu redor objetivos capazes de satisfazer suas necessidades e seus desejos. Porém, segundo psicólogos, os caminhos para os objetivos são, muitas vezes, percebidos como organizados num certo número de partes secundárias, cada uma delas constituindo um objetivo secundário intermediário, a ser atingido no caminho para o objetivo final. Um exemplo disso é a pessoa que deseja ascender econômica e socialmente na vida, e vê em um diploma universitário a oportunidade para isso, e então decide preparar-se bem para o vestibular. Provavelmente o objetivo principal não é a ascensão econômica e social, e sim o bem estar. Mas, no raciocínio desta pessoa este seria o caminho para alcançar o bem estar. E a maneira de entrar numa boa universidade é estudando. Assim, para se alcançar o objetivo final existem, no exemplo acima, dois objetivos secundários: estudo para entrar numa universidade e a ascensão econômica e social.

Assim, o homem, dotado de cognição, consegue mapear razoavelmente o caminho para se atingir um objetivo e prevê pelo menos boa parte das necessidades que pode sentir no futuro. Antecipa-se aos fatos e engaja-se em inúmeras atividades (objetivos secundários) que permitirão satisfazer as necessidades e satisfazer alguns ou todos os desejos, presentes ou futuros. Esses objetivos secundários adquirem muitas das características percebidas dos objetivos; são atraentes e procurados, e obtém-se satisfação ao atingí-los. Entre os objetivos secundários considerados importantes na sociedade contemporânea pode-se citar o trabalho, o estudo, a compra, o lazer, etc.

No entanto, por via de regra, essas atividades não são desenvolvidas no mesmo local. Conseqüentemente, a locomoção de um lugar para outro torna-se necessária. Nesse contexto a viagem é considerada uma atividade intermediária que fornece suporte aos objetivos que geralmente são secundários. Sendo a viagem uma atividade intermediária, ela em si não

proporciona satisfação (com exceção de viagens empreendidas por lazer). Pelo contrário, geralmente ela provoca insatisfação, uma vez que se constitui numa barreira que deve ser transposta para que se possa exercer aquelas atividades. Dessa forma, podemos afirmar, sem medo de errar, que transporte é um mal necessário. Entre os principais fatores que provocam essa insatisfação estão a perda de tempo, o dispêndio do esforço físico, o gasto de dinheiro, a exposição ao risco de acidente, etc.

Imaginemos agora várias atividades desenvolvidas na cidade ou no campo. Podemos notar que, de uma forma ou de outra, todas as atividades desenvolvidas numa sociedade estão interrelacionadas. Uma fábrica ou uma fazenda usa, além da mão-de-obra, insumos oriundos de outras fábricas, outras fazendas ou do comércio; por sua vez, o comércio vende produtos oriundos das fábricas ou das fazendas para outras fábricas, para o próprio comércio e para os consumidores finais; estes consumidores compram produtos no comércio e vendem o seu produto que é a força de trabalho, inteligência e criatividade às fábricas, fazendas, comércio, etc. Note-se que cada uma das relações acima mencionadas é possível graças ao transporte. Portanto, não seria nenhum exagero afirmar que o transporte, assim como a água ou o oxigênio, é vital ao homem e à sociedade. A importância do transporte pode ser notada pela sua participação no produto interno bruto do mundo: aproximadamente 40%. Esse valor é obtido somando-se todos os salários, lucros, impostos, etc., que foram gerados pelas atividades ligadas, direta ou indiretamente, ao transporte. Evidentemente, as montadoras de veículos, os fabricantes de autopeças, a construção de viadutos, pontes, túneis, estradas, terminais, etc., estão aí incluídos. Com relação ao restante (60%) da riqueza mundial, podemos afirmar que, embora ela não seja gerada pelas atividades ligadas à oferta de transporte, é ele que propicia condições para a sua geração.

A seguir, vamos tentar definir o aspecto social e o aspecto econômico do transporte para evitar a confusão muito comum, provavelmente originada pela estreita relação existente entre eles. O aspecto econômico do transporte diz respeito ao papel do transporte na produção, distribuição espacial e consumo das riquezas, enquanto que o aspecto social do transporte refere-se ao papel do transporte na organização geral da sociedade e no estilo de vida de uma sociedade em que as pessoas se engajam em uma série de atividades, econômicas e não-econômicas.

## **1.2. Transporte e desenvolvimento econômico**

Conforme foi mencionado na introdução, o transporte desempenha um papel de suma importância na produção, na distribuição espacial e no consumo de riquezas. Além disso, o transporte intervém na distribuição de renda entre os membros de uma sociedade. Vamos então analisar a influência do transporte nos diferentes aspectos da economia.

### **1.2.1. Custo de transporte como determinante de consumo**

A teoria do consumidor nos mostra, através da curva de demanda, que quanto maior for o preço de um determinado bem num mercado, geralmente a quantidade consumida no mercado diminui. A principal razão disso é que o preço se torna insuportável para quem tem salário baixo. Mas, à medida que o preço aumenta, ele vai se tornando insuportável também para quem ganha mais. E nesse ponto a distância de transporte ganha importância. Quando se trata de bem importado de outra região, o preço no mercado é o preço na região de origem acrescentado do custo de transporte. Por sua vez, o custo de transporte é a soma de uma parcela do custo que independe da distância transportada (custo fixo) e de uma outra, que varia com a distância transportada (custo variável).

Vamos raciocinar sobre os elementos acima apresentados para compreender a influência do custo de transporte no consumo. Suponhamos que uma mercadoria será transportada da região A, onde ela é produzida, para a região B, onde ela será consumida. O transporte será feito através de uma estrada de terra, cujos custos variável e fixo são, respectivamente,  $a_1$  e  $CF_T$ . Dado que a distância entre a região de origem do produto e o mercado é  $D$ , e que o preço unitário do bem é de  $P$ , o preço unitário ( $P_{mT}$ ) do bem no mercado B será de:

$$P_{mT} = P + CF_T + a_1 \cdot D$$

A esse preço, conforme se vê na Figura 1.1, o mercado poderá absorver apenas  $Q_{mT}$ . Cabe aqui salientar que caso não houvesse a estrada o mercado ficaria privado dessa mercadoria. Com o transporte rodoviário sobre estrada de terra, pelo menos  $Q_{mT}$  pode ser consumido no mercado, o que significa que uma parcela da população do mercado consumidor está sendo beneficiada pelo transporte. Quando a estrada for asfaltada, o custo fixo de transporte diminuirá, uma vez que a distância  $D$  passará a ser percorrida em menor tempo (diminuindo assim o tempo em que o veículo e o motorista fica alocado àquela viagem). Também haverá redução no custo variável (de  $a_1$  para  $a_2$ ), pois os gastos com os itens como combustível, pneus e câmaras, e troca de peças ficarão reduzidos. Reduzindo o preço da mercadoria ao consumidor, ela tornará acessível para mais pessoas, as quais passam a beneficiar-se de  $Q_{mA}$  unidades.

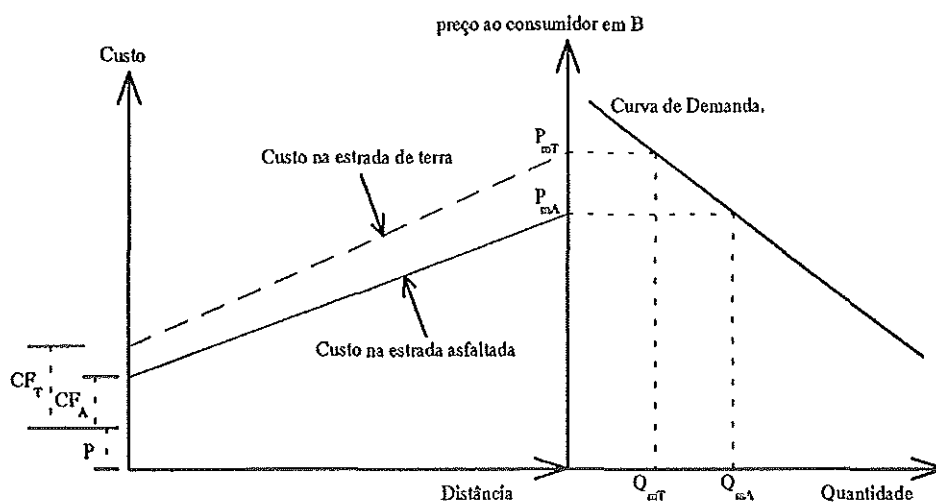


Figura 1.1: Relação entre distância, tecnologia de transporte, demanda por produto importado de outras regiões, e a quantidade demandada.

### 1.2.2. Transporte e produção

A produção de bens é um outro item intimamente ligado ao transporte. Alguns exemplos são suficientes para nos convencerem disso. Imaginemos uma montadora de automóveis. Ela recebe os insumos tais como chassi, motor, pneus, etc., produzidas por diferentes fabricantes que os transportam até a montadora. Além disso, ela conta também com os funcionários, que chegam à fábrica de diferentes maneiras: a pé, de ônibus, de metrô, de automóvel, etc. Uma vez montado, o automóvel é transportado até uma das concessionárias que o venderá ao comprador final. Podemos, pois, facilmente notar que o transporte faz parte da nossa vida diária.

Conforme comentamos anteriormente, o transporte é vital para qualquer atividade, sobretudo para as de produção. Para confirmar essa afirmação, recordemos as ocasiões em que caminhoneiros fizeram greve reivindicando aumento no frete, ou quando motoristas de ônibus de

grandes cidades pararam reivindicando aumento salarial. Era o caos: empresas viam-se obrigadas a diminuir a produção por falta de insumo, e um grande número de trabalhadores eram impedidos de chegar ao trabalho, reduzindo drasticamente o nível de atividade na cidade.

Assim, notamos que o transporte é fundamental para termos acesso a bens e serviços, e que o custo do transporte exerce grande influência no preço do produto, o qual indiretamente determina a parcela da população que terá acesso ao produto. O mesmo raciocínio é válido para o transporte de insumos de produção.

### 1.2.3. Transporte e produtos perecíveis

Analisemos agora outro atributo de transporte que é o tempo de viagem. Existem inúmeros produtos que exigem, além da capacidade de deslocar cargas, que a duração do transporte seja menor do que um determinado tempo. Geralmente é o caso de produtos perecíveis, que perdem a principal qualidade neles demandada. Um exemplo desses produtos é a verdura: se o seu transporte demorar mais do que um determinado tempo ela se seca, perdendo toda a qualidade de verdura. Outro exemplo é o jornal: se ele for entregue no dia seguinte, as notícias tornam-se ultrapassadas e perde-se a principal qualidade do jornal que é conter notícias frescas. Fica evidente que o transporte de verduras, de São Paulo para Brasília, por exemplo, não de ser feito em carros de boi. Ele deve ser feito por meios mais rápidos como caminhão, que levará aproximadamente um dia até chegar a Brasília. Uma alternativa para os caminhões seria os aviões, porém o seu alto custo não permite que a verdura chegue ao consumidor a um preço acessível.

Quando a modalidade de transporte, de custo economicamente viável, não possui velocidade suficiente para transportar um produto perecível em tempo hábil, é comum dotá-la de instalação capaz de preservar a qualidade do produto. Exemplos são os caminhões frigoríficos. Antes do advento do caminhão frigorífico, a carne não podia ser transportada além de uma certa distância. Assim, ao invés de carne transportava-se bois vivos que eram abatidos no destino. Evidentemente o custo de transporte era elevado, dado que apenas uma parte do peso transportado é de carne.

### 1.2.4. Transporte e localização das atividades

Nas discussões acima adotamos a premissa de que a região produtora e o mercado consumidor são fixos. Nessas condições, a tecnologia aplicada aos elementos do sistema de transporte torna-se a única variável da questão. Vamos agora modificar o problema. Suponhamos que a tecnologia e o mercado consumidor sejam fixos, e a variável seja a localização da produção. O que é mais vantajoso, produzir na proximidade do mercado consumidor ou próximo à origem dos insumos? A resposta a esta questão nos daria a diretriz para a localização de atividades. Infelizmente a questão não é tão simples porque depende de vários fatores.

A localização de uma atividade depende, além do mercado consumidor e do mercado fornecedor dos insumos, da localização da mão de obra para a atividade, do preço de transporte, da disponibilidade de terreno para a implantação da atividade, etc. A finalidade é diminuir o preço final dos produtos. Com isso, desde que os consumidores mantenham a quantidade consumida, sobrará mais dinheiro para gastar em outras coisas, ou para comprar maior quantidade daquilo que já consome, ou consumir produtos de melhor qualidade, ou ainda reduzir a jornada de trabalho e dedicar mais tempo ao lazer.

No que concerne a transportes, uma das metas econômicas é diminuir o gasto de recursos escassos através do melhoramento no transporte. Outra meta é aumentar o bem estar da

sociedade como um todo através do aumento indireto da renda (diminuição o gasto com o ítem transporte).

De maneira geral, os baixos preços do transporte na sociedade moderna faz com que seja possível encontrar em qualquer sociedade, produtos fabricados a milhares de quilômetros. Esses produtos são indiretamente trocados por bens produzidos no local e desejados pela população de outras regiões. A grande vantagem dessa troca é que isso permite a especialização na produção de certos bens, seguindo a vocação da região ou do povo, baixando significativamente o preço final, beneficiando a população em geral.

#### **1.2.5. O transporte como instrumento de distribuição de renda**

Imaginemos uma fábrica de carroça localizada num lugarejo isolado dos centros mais desenvolvidos. O fabricante detém o monopólio da produção de carroças que são vendidas aos pobres lavradores a preço elevado, muito mais do que o custo de produção. O governo estadual, percebendo o isolamento do lugarejo, resolve construir uma estrada ligando o lugarejo a uma cidade maior, onde existem vários fabricantes de carroças, que passam a disputar também o mercado do lugarejo. O ambiente de competição resulta na redução do preço de carroças, beneficiando os lavradores do lugarejo. O fabricante local, por sua vez, terá de fixar um preço no máximo igual ao dos concorrentes, se quiser sobreviver. É evidente que o seu lucro irá diminuir consideravelmente. Isto quer dizer que uma parcela significativa do lucro do produtor local é transferido para os lavradores. Estes pagarão menos pela carroça e então passarão a dispor de mais dinheiro para comprar outras coisas.

Além desse efeito imediato, existe um outro fator que promove a distribuição de renda. Vamos supor que o produtor de carroças de um dos centros mais desenvolvidos estava pensando em ampliar sua linha de produção para atender ao aumento da demanda por suas carroças (inclusive porque várias unidades são vendidas naquele lugarejo). Mas tão logo percebeu que os salários pagos naquele lugarejo são mais baixo, resolveu instalar ali uma outra fabrica, uma filial. Agora que a demanda pela mão-de-obra aumentou no lugarejo, mantida a oferta, os salários no lugarejo vão aumentar sensivelmente, mas ainda muito aquém dos níveis salariais dos grandes centros. Apesar de tudo, no final das contas, ganha o empresário que consegue produzir carroças a custos menores, e ganha também os moradores do lugarejo que passaram a ter salários maiores. É importante notar que desde que o empresário decidira aumentar o seu negócio, ampliando a fábrica no centro desenvolvido ou implantando uma filial no lugarejo, era previsível que o nível salarial aumentaria na região que recebesse o investimento. A diferença é que o investimento no lugarejo vai melhorar sensivelmente o nível de vida de seus habitantes, antes muito sacrificados, em detrimento do aumento salarial dos trabalhadores do centro desenvolvido. Este é, portanto, o caso em que um melhoramento no transporte promove a transferência de benefícios de uma região para outra.

### **1.3. Aspectos sociais dos transportes**

A estreita relação que existe entre homem e transporte é antiga. A história nos conta que o homem neolítico deslocava, juntamente com sua tribo, de um lugar para outro à procura de alimento. Levavam consigo poucos pertences passíveis de serem locomovidos por meio de primitivos equipamentos de transporte.

Quando o homem aprendeu a cultivar a terra e a domesticar e criar animais, ele passou a ser sedentário. Com essa mudança de hábito, o homem passou a dedicar mais tempo à arte, à comunicação escrita com a qual pretendia passar para a geração seguinte o conhecimento, e às

idéias. O sedentarismo tornou também possível o desenvolvimento e o uso de maquinárias e instrumentos simples para aumentar a produtividade das pessoas ou dos animais. Certamente o sedentarismo aumentou o tempo de lazer, uma vez que já não era mais preciso juntar os pertences e marchar vagarosamente até o próximo paradeiro. Estas horas de folga podiam ser empregadas para incrementar o seu bem estar, material ou espiritual.

Muitos desses assentamentos eram localizados onde existia alguma facilidade de transporte, geralmente à margem de rios, lagos ou mares. As principais causa dessa preferência eram: rios de pouca correnteza, que são vias naturais para embarcações, as quais permitem movimentar toneladas com esforço relativamente pequeno; água em abundância; e a possibilidade de pesca. Aliás, isso não aconteceu apenas com os nossos antepassados. Aconteceu também no Brasil, cuja história é relativamente recente. Vamos exemplificar com alguns casos paulistas: São Paulo - Rio Tietê; Atibaia - Rio Atibaia; Piracicaba - Rio Piracicaba; São José dos Campos - Rio Paraíba do Sul; etc. É claro que nem todas as cidades estão na margem dos rios ou lagos. Em muitos casos, o fator determinante do assentamento não foi a água, e sim outros fatores, como por exemplo o solo apropriado para certo tipo de cultura. Mas é inegável que a maioria dos assentamentos iniciais no estado de São Paulo estão próximos à água por causa da facilidade de transporte ou porque foi fundada por bandeirantes que desciam rio abaixo, rumo ao interior paulista.

### 1.3.1. Transporte e sociedade rural

Até o advento de modernos veículos rodoviários, em um assentamento rural, os trabalhadores moravam no próprio local de trabalho, isto é, nas fazendas. Os meios de transporte eram basicamente utilizados para se locomoverem na fazenda, para fazerem as compras da semana, para o transporte de insumos agrícolas da loja até o depósito da fazenda e de lá até o cultivo, e para o transporte da colheita para a cidade. Esse cenário tende a mudar, à medida que a produção rural passa a ser dominada pelas grandes empresas rurais.

Basicamente preocupadas com o custo e a eficiência na produção, essas empresas contratam a sua mão de obra apenas para temporadas. Com isso, os patrões se vêem desobrigados a mantê-los o ano todo fornecendo-lhes moradia, água e energia elétrica, como ocorre nas fazendas tradicionais. Esta categoria de trabalhadores constitui o grande contingente de "bóias frias", que chegam às fazendas, geralmente em caminhões, trazidos de cidades onde moram.

Portanto, podemos dizer que o advento do transporte moderno, que permite o deslocamento rápido de grande quantidade de pessoas, provocou a mudança na mentalidade dos empregadores rurais, na relação destes com os empregados, e na tradição dos empregados de morarem no local de trabalho. Embora não possamos afirmar que o nível de vida dos trabalhadores rurais tenha piorado como bóias frias, agora eles não podem, como antes, criar animais e plantar verduras para consumo próprio.

### 1.3.2. O papel do transporte numa sociedade urbana

Refletamos um pouco sobre a maneira como geralmente um povoado surge, cresce e às vezes decresce. Um exemplo de cidade cuja população decresce é a vizinha cidade de Itirapina. A cidade teve um crescimento considerável enquanto a Paulista era a grande responsável pelo transporte das cargas agrícolas do interior do estado para São Paulo e Santos, e de cargas industriais de São Paulo e produtos importados via Porto de Santos para o interior. Itirapina era importante na medida em que abrigava um dos principais entroncamentos ferroviários. Ali a estrada de ferro se divide em duas: uma que passa por São Carlos e vai até Santa Fé do Sul, e a

outra que passa por Baurú e vai até Panorama. A FEPASA nasceu da estatização da Paulista e de várias outras estradas de ferro independentes, no início da década de 70. O rodoviarismo que se iniciou na década de 50 contribuiu para o declínio das ferrovias. A Rodovia Washington Luiz, por exemplo, foi pavimentada em 1958, quando o país inteiro passou a dar grande ênfase às rodovias. Essa tendência ganhou força com a implantação da indústria automobilística. Esse fato contribuiu para a decadência das ferrovias, e particularmente de Itirapina, mas não foi a causa única. Chafic Jacob (1982) escreveu no seu livro "Ferrovia: o caminho certo":

*Não só as implantações da ferrovia, no primórdio da sua implantação, como também as suas extensões, ocorreram sem adequado planejamento técnico, operacional e econômico. Sem visão do futuro, a estrada de ferro foi surgindo segundo as conveniências de minorias dominantes, sem o necessário e desejável planejamento sócio-econômico. Na verdade, um certo florescimento e alguma expansão da ferrovia, nos primórdios da sua implantação, deveram-se mais à precariedade dos modos concorrentes do que à eficácia do sistema. Serpenteando entre cidades e fazendas, com traçados impróprios e onerosos, mantendo uma superpopulação de empregados mal-remunerados e desmotivados, sob a ingerência do paternalismo político e com poucos recursos, não é preciso aprofundar muito para encontrar as causas que contribuíram para a degeneração da modalidade.*

Voltando ao crescimento da cidade, no princípio algumas famílias se instalam em um determinado local, digamos à margem de um rio, pela possibilidade de pesca e também pela facilidade de transportar coisas por meio de barcos. Posteriormente, outros lá se instalam movidos pelo sentimento de segurança. Afinal, ali eles teriam companhias para qualquer eventualidade. Então, um sujeito que tem algum tino comercial vê no povoado um potencial de consumo e resolve abrir um armazém de secos e molhados para vender tudo aquilo que cada família era obrigada a trazer de longe. Um outro percebe que algumas coisas vendidas no armazém poderiam ser facilmente fabricadas no local e vendidas a um preço menor. Decide, então, montar uma fábrica. Pouco a pouco vão surgindo no povoado casas de serviços como barbearia, pensão, restaurante, etc. Também são construídas uma igreja e uma escola. Depois que o povoado atinge uma certa dimensão, um Banco abre uma filial. Mais famílias, mais armazéns, mais fábricas, mais serviços, mais empregados, mais famílias, e assim por diante.

A essa altura, o dono da primeira fábrica já começa a sentir que o seu barracão não comporta o número de empregados necessários para a ampliação de seus negócios. Então resolve adquirir um grande terreno na periferia do povoado e construir um grande barracão industrial. Triplica a produção e passa a exportar a maior parte da sua produção. Seus empregados que antes caminhavam 200 m até chegar ao trabalho, agora precisam caminhar 500 m. E isso vai acontecendo também com as outras fábricas. Este exemplo simplório mostra que na maioria das vezes se torna impossível manter todas as atividades concentradas em um mesmo local.

Passadas algumas décadas, já como uma cidade de porte pequeno, é possível encontrar trabalhadores viajando até 2 km entre a sua residência e o local de trabalho, ou seja, quase 30 minutos de caminhada. Aí algum empresário resolve iniciar a oferta de serviços de transporte público. A grande parte das empresas de transporte urbano que atuam nas cidades brasileiras de porte médio cresceu juntamente com as cidades. Em muitas empresas de transporte público criadas nas pequenas cidades desapareceram por falta de usuários.

O fato é que as cidades ultrapassam uma certa dimensão, impulsionadas também pela facilidade que a moderna tecnologia de transporte oferece para efetuar a locomoção de dezenas de quilômetros em menos de uma hora. Com transporte fácil, o homem não vê necessidade de morar próximo do local de trabalho, da escola ou do centro comercial, onde geralmente o terreno é mais caro e o ambiente mais poluído, seja em termos de ar ou de ruído. Pelo contrário, alguns até preferem refugiar-se na tranquilidade da periferia. Assim, sem saber ou querer, o homem torna-se cada vez mais dependente do transporte. Com certeza, se não existisse essa

facilidade as cidades permaneceriam pequenas ou multinucleadas.

É interessante também observar que a sociedade é impregnada de hábitos, cultura e conveniências. Com exceção de empresas que funcionam em turnos, a jornada de trabalho dura normalmente das 8:00 às 18:00h, com um intervalo de duas horas para almoço. Ou seja, a maioria chega ao trabalho pouco antes das 8:00, formando o pico de tráfego das 7:00 às 8:00h; a maioria sai do trabalho às 18:00h e, conseqüentemente, forma-se o pico das 18:00 às 19:00h. Na hora do almoço também se costuma formar pico de tráfego. Esse pico é tanto mais reduzido quanto maior for a cidade, e vice-versa. A explicação é que nas cidades de porte médio ou pequenas é possível aos trabalhadores almoçarem em suas casas; as distâncias de viagens são relativamente pequenas e, mesmo de ônibus, a viagem de ida e volta leva menos de uma hora. Nas cidades grandes, ao contrário, a maioria dos trabalhadores se vê impossibilitado de ir para casa, almoçar e voltar ao trabalho em duas horas disponíveis. Assim, os trabalhadores lancham ou almoçam nos bares ou nos restaurantes da proximidade do trabalho.

Outro problema associado ao tamanho da cidade é despesa com transporte que geralmente aumenta à medida em que uma cidade cresce. Numa cidade do porte de Ibaté, de aproximadamente 20.000 habitantes, a maior distância de viagem é da ordem de 2 km, o que significa que os moradores da cidade não necessitam de transporte motorizado para sua viagem ao trabalho ou à escola. Já numa cidade como São Carlos cuja população é 8 vezes superior à de Ibaté, a maior distância de viagem chega a 10 km, e a distância média de viagem deve estar em torno de 4 a 5 km. Isto indica que pelo menos a metade das viagens teria uma hora ou mais de caminhada, caso não houvesse transporte motorizado.

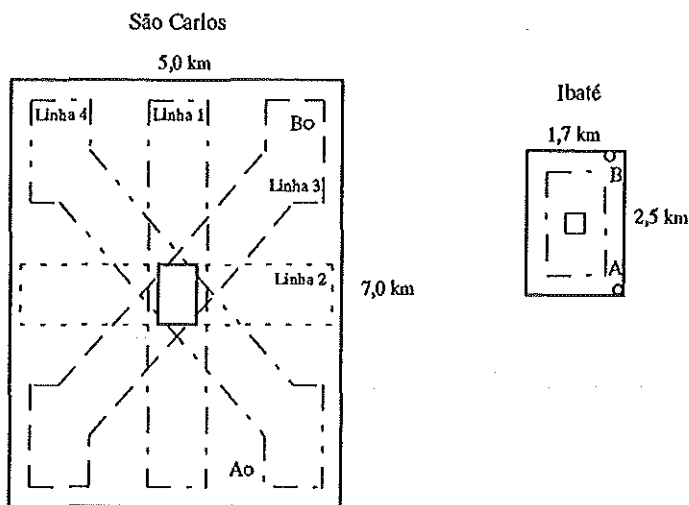


Figura: 1.2: Relação entre porte da cidade e transferências

Para analisar a questão do custo, vamos supor que as pessoas se disponham a andar no máximo 1 km, incluindo a distância da origem até o ponto de embarque e a distância do ponto de desembarque até o destino. E que, acima dessa distância, todos passam a utilizar ônibus. Nesse caso, Ibaté precisaria de uma linha de ônibus que circulasse pela cidade. São Carlos precisaria de pelo menos quatro linhas circulares. Está claro que o roteamento não levou em consideração o tempo de viagem, pois estamos supondo que apenas a distância de caminhada interessa. Um aspecto importante a destacar é que, em Ibaté, o uso da única linha satisfaz a condição de andar no máximo 1 km, onde quer que esteja os pontos de origem e destino. Em São Carlos, dependendo da localização da origem e destino, seria necessária uma transferência. Por exemplo, para ir de A a B é preciso tomar um ônibus da linha 4 e depois transferir-se para um ônibus da linha 3. Caso não exista um sistema de transferência gratuita ou integração tarifária, o



usuário será obrigado a pagar duas tarifas para se chegar ao destino. Há alguns anos, a Folha de São Paulo fez uma reportagem mostrando que em São Paulo existe um grande contingente de pessoas que vão a pé ao trabalho, cobrindo distâncias de até 20 km. Nesse caso extremo, as pessoas se levantavam às 4:00 h da madrugada para chegarem ao trabalho às 8:00 h. Imagina-se que exista um número ainda maior de pessoas que viajam vários quilômetros a pé para evitar o pagamento de mais de uma tarifa.

Essa situação é provocada pelo baixo salário da maioria da população brasileira. As Tabelas I.1 e I.2 abaixo mostram o percentual do salário mensal gasto com transporte no Município de São Paulo e na Região Metropolitana de São Paulo. Os dados foram compilados de um trabalho publicado pela Comissão de Economia de Transporte da ANTP - Associação Nacional de Transporte Público, de 1980. Acredita-se que a situação tenha se agravado, dado o aprofundamento da crise econômica que o país sofreu desde a década de 80.

Tabela I.1

Participação relativa de gastos em transportes públicos no Município de São Paulo - 1971/1972

| Classes de Salário Mínimo Mensal | Gastos em Transporte Coletivo (%) | Número de famílias |           |
|----------------------------------|-----------------------------------|--------------------|-----------|
|                                  |                                   | %                  | Acumulado |
| menos de 1,0                     | 3,4                               | 1,4                | 1,4       |
| 1,0 - 2,0                        | 4,3                               | 7,2                | 8,6       |
| 2,0 - 6,0                        | 4,5                               | 46,9               | 55,5      |
| 6,0 - 8,0                        | 4,0                               | 12,7               | 68,2      |

Fonte: FIPE-USP - 1971/1972

Tabela I.2

Participação relativa de gastos em transportes públicos na área metropolitana de São Paulo - 1975

| Classes de Salário Mínimo Mensal | Gastos em Transporte Coletivo (%) | Número de famílias |           |
|----------------------------------|-----------------------------------|--------------------|-----------|
|                                  |                                   | %                  | Acumulado |
| menos de 1,6                     | 5,4                               | 10,0               | 10,0      |
| 1,6 - 2,8                        | 5,0                               | 21,8               | 31,8      |
| 2,8 - 4,0                        | 4,2                               | 21,5               | 53,3      |
| 4,0 - 5,6                        | 3,4                               | 15,8               | 69,1      |
| 5,6 - 8,0                        | 3,0                               | 14,3               | 83,4      |

Fonte: FIBGE - 1978

As Tabelas I.3. e I.4. mostram, respectivamente, os motivos de viagem e a repartição modal das viagens, que de certa forma confirma a notícia da Folha de São Paulo, de que existe um grande contingente de pessoas que viajam a pé para poderem adquirir produtos de primeira necessidade. Por exemplo, a Tabela I.4 mostra que entre as famílias que ganham até 4 salários mínimos na Região Metropolitana de São Paulo, 53,7% de todas as viagens são feitas a pé. Já na faixa de salário familiar que vai de 4 a 8 salários mínimos, esse percentual cai para 46,6 %. Evidentemente, muitas dessas viagens são de curta distância, e dispensam transportes motorizados. Porém quando se vê que, à medida que o salário médio dobra (as faixas salariais

da Tabela 4.1 estão definidas, coincidentemente ou não, de maneira que a renda média de uma faixa seja aproximadamente igual ao dobro da faixa anterior), a porcentagem de pessoas que viajam a pé reduz de aproximadamente 10%, e que na faixa salarial acima de 30 salários mínimos apenas 14,3% viajam a pé, nota-se que a maior parte da população economicamente desfavorecida tem acesso restrito a transporte público.

Tabela I.3

Região Metropolitana de São Paulo  
Distribuição das viagens diárias segundo motivo e modo principal  
1987

| Modo Principal | Motivos          |                    |               |        |         |         |       |       |        | Total  |
|----------------|------------------|--------------------|---------------|--------|---------|---------|-------|-------|--------|--------|
|                | Trabalho Serviço | Trabalho Indústria | Trabalho Com. | Negóç. | Educaç. | Compras | Lazer | Saúde | Resid. |        |
| Metrô          | 11,1             | 4,6                | 10,4          | 8,9    | 5,4     | 8,2     | 4,6   | 8,0   | 7,6    | 7,6    |
| Trem           | 4,6              | 8,7                | 5,2           | 2,9    | 2,5     | 2,5     | 2,2   | 4,7   | 4,6    | 4,4    |
| Tróleibus      | 1,1              | 0,6                | 0,6           | 0,6    | 0,8     | 0,8     | 0,6   | 0,4   | 0,7    | 0,7    |
| Ônibus         | 42,0             | 54,8               | 34,0          | 40,3   | 30,4    | 30,4    | 26,2  | 46,0  | 44,5   | 42,1   |
| Auto           | 36,5             | 28,0               | 49,5          | 50,3   | 56,4    | 56,4    | 63,2  | 38,6  | 39,5   | 41,9   |
| Lotação        | 0,1              | 0,1                | 0,1           | 0,2    | 0,2     | 0,2     | 0,1   | 0,1   | 0,1    | 0,1    |
| Táxi           | 0,6              | 0,1                | 0,3           | 1,1    | 0,3     | 0,2     | 1,1   | 1,7   | 0,7    | 0,6    |
| Moto           | 1,0              | 1,3                | 1,2           | 1,0    | 0,7     | 0,4     | 1,1   | 0,3   | 1,0    | 1,0    |
| Outros         | 2,9              | 1,7                | 1,6           | 1,9    | 0,6     | 1,0     | 0,9   | 0,3   | 1,5    | 1,5    |
| Total          | 100,0            | 100,0              | 100,0         | 100,0  | 100,0   | 100,0   | 100,0 | 100,0 | 100,0  | 100,0  |
| Viagens(1000)  | 2.603            | 1.596              | 1.010         | 1.160  | 1.871   | 517     | 1.260 | 484   | 8.314  | 18.816 |

Fonte: Metrô - Pesquisa OD/87

Tabela I.4

Região Metropolitana de São Paulo  
Distribuição percentual das viagens diárias (motorizadas) segundo modo principal e renda média familiar mensal  
1987

| modo principal  | Renda média familiar mensal (salários mínimos de set. de 87) |       |        |         |            |                | (em %) |
|-----------------|--|-------|--------|---------|------------|----------------|--------|
|                 | Até 4  | 4 a 8 | 8 a 15 | 15 a 30 | mais de 30 | não declarados |        |
| Metrô           | 7,1  | 7,9   | 8,4    | 8,3     | 5,3        | 7,6            | 7,6    |
| Trem            | 8,4  | 6,8   | 5,2    | 2,5     | 0,6        | 3,6            | 4,4    |
| Tróleibus       | 1,0  | 1,0   | 0,8    | 0,6     | 0,3        | 0,6            | 0,7    |
| Ônibus          | 64,0   | 58,8  | 46,8   | 32,4    | 16,3       | 36,6           | 42,1   |
| Auto            | 15,6   | 21,7  | 35,9   | 53,2    | 74,4       | 48,0           | 41,9   |
| Táxi            | 0,5  | 0,3   | 0,5    | 0,8     | 1,2        | 0,6            | 0,6    |
| Lotação         | 0,1  | 0,2   | 0,1    | 0,1     | 0,1        | 0,0            | 0,1    |
| Moto            | 0,6  | 0,8   | 1,1    | 1,3     | 1,3        | 1,0            | 1,0    |
| Outros          | 2,7  | 2,6   | 1,2    | 0,5     | 0,5        | 1,9            | 1,5    |
| Total           | 100,0  | 100,0 | 100,0  | 100,0   | 100,0      | 100,0          | 100,0  |
| Motorizadas     | 46,3   | 53,4  | 64,2   | 74,6    | 85,7       | 67,3           | 64,0   |
| A pé            | 53,7   | 46,6  | 35,8   | 25,4    | 14,3       | 32,7           | 36,0   |
| Viagens (1.000) | 3.787  | 6.554 | 7.268  | 5.495   | 3.023      | 3.280          | 29.407 |

Fonte: Metrô - Pesquisa OD/87

#### 1.4. Aspectos políticos de transporte

O transporte desempenha um importante papel no funcionamento da unidade política. As unidades políticas são formadas com o objetivo de proteção mútua contra possíveis agressões, ou para tirar vantagens econômicas, ou ainda para realçar a cultura comum, etc. Um sistema de transporte mínimo é um pré-requisito para que uma área seja submetida a uma regra única. Para governar uma área, o governo deve ser capaz de enviar rapidamente as informações a todas as partes da área governada, e receber informações de todas elas.

Po outro lado, as escolhas políticas de um determinado governo podem definir as funções que o sistema de transporte deve desempenhar. Essas funções podem ser classificadas em: comunicação, movimentação de militares, viagens de pessoas, e transporte de cargas. Uma sociedade pode optar entre desenvolver um sistema de transporte que satisfaça uma função específica ou alguma combinação dessas funções. Vamos discutir brevemente cada uma das funções.

Uma das funções do sistema de transporte pode ser a de proporcionar comunicação - a transferência de mensagens ou informações de um lugar para outro. Aliás, os sistemas de transporte em muitas das civilizações antigas eram projetados basicamente para desempenhar esta função. Usualmente as mensagens eram levadas por mensageiros a cavalo, o que os obrigava a trocar de cavalo em alguns pontos, ou, caso a mensagem fosse urgente, ela era transferida para outro mensageiro para que não houvesse interrupção no transporte.

O transporte é fundamental ao deslocamento de tropas e equipamentos para a defesa dos interesses de uma nação ou de uma região. Tão importante quanto a possibilidade de transportar aparatos bélicos é o fato de que a viabilidade de transportar pessoas e mercadorias promove assentamentos e ocupação gradativa da região, que auxiliam na defesa de tais interesses. Como um típico exemplo brasileiro, temos a Rodovia Transamazônica que foi construída na década de 70 sob a alegação de que a rodovia era necessária para o resguardo da soberania nacional e para a integração da região amazônica ao resto do país.

Outra função do sistema de transporte é satisfazer as necessidades de deslocamento de pessoas e de cargas em geral. Aqui a escolha é orientada, também, politicamente em decorrência dos custos financeiros, sociais e políticos que essa escolha gera. Com muita frequência são levantadas as seguintes questões: "porque não investir mais em ferrovias ao invés de investir em um transporte caro como o rodoviário?" ou, "porque no Brasil se dá pouca importância ao transporte ferroviário ao contrário do Japão, EUA e Europa?". Existem várias razões para essa "preferência" brasileira. Vamos apontar duas delas.

A primeira é que nos EUA, nos países europeus, e no Japão, a maior parte da extensa malha ferroviária foi implantada no século passado e no início deste século, quando apenas o modo hidroviário era, em algumas regiões, concorrente à ferrovia. Portanto, vários custos de uma ferrovia, tais como os custos de desapropriação, construção de terminais, terraplanagem, etc., foram pagos enquanto a ferrovia gozava a situação de quase monopólio. Ainda se investe, sim, em melhoria do traçado em certos trechos, em adaptações para receber trens mais velozes, na reforma de terminais, implantação de alguns ramais, etc. Como se vê, a situação é bem diferente da brasileira onde se tem que começar praticamente do zero.

A segunda razão é a grande extensão territorial e, conseqüentemente, as baixas densidades populacional e de produção (produção por unidade de área) na maior parte do território nacional. Como será visto no último capítulo, a implantação de uma infra-estrutura de transporte depende muito do retorno que o investimento trará ao longo de sua vida útil. A oferta de uma certa extensão de ferrovia é quase independente da densidade populacional ou da

densidade de produção da área servida (na realidade o custo da terra é geralmente maior onde essas densidades são maiores). Por outro lado, a demanda por transporte de passageiros e de cargas depende fundamentalmente daquelas densidades. Quanto maiores forem as densidades, maiores serão as receitas e o lucro. Por exemplo, a Suíça, onde a utilização da ferrovia é intensa, tem uma área equivalente à região administrativa de Ribeirão Preto; nessa área, 6,5 milhões de habitantes produzem um PIB que corresponde a metade do PIB brasileiro, indicando que ela tem uma grande densidade populacional e também grande produção por unidade de área; a implantação de 300 km de ferrovia na Suíça significaria cruzar o país de norte a sul; e, sem dúvida seria a maior obra ferroviária suíça do século, e viria a favorecer pelo menos a metade da população (1/4 do PIB brasileiro). No Brasil, 300 km não significam nada, nem mesmo no estado São Paulo que é o mais rico do país. Numa região com baixa densidade populacional e de produção, o custo da implantação de ferrovia demorará a ser pago.

Na medida em que a ferrovia não permite a implantação em etapas como a rodovia (que pode começar como estrada de terra, depois cobri-la de cascalhos, e depois de mais alguns anos pavimentá-la, etc.), políticos relutam em decidir pela implantação de ferrovias. Talvez tenham razão, pois tantas são as necessidades do país que uma alternativa ferroviária, que só trará frutos em um horizonte de 20 ou 25 anos, e que na primeira metade da vida útil operará com considerável ociosidade, tende a ficar "esquecida" diante da existência de problemas urgentes como o de saúde pública ou de educação básica que precisam de soluções imediatas. Mesmo assim, existem alguns eixos, tais como São Paulo - Rio ou São Paulo - Campinas, além de alguns outros trechos isolados, que podem ser economicamente viáveis e portanto merecem ao menos uma análise mais cuidadosa.

Além destas, existem muitas outras decisões políticas concernentes a transporte. Um exemplo disso é a questão sobre como e quanto cobrar dos usuários de transporte público. Há alguns anos um secretário dos transportes do município de São Paulo defendeu a idéia de "tarifa zero". Se a idéia tivesse sido implantada, a população inteira da cidade estaria contribuindo para pagar as contas das empresas operadoras, em benefício dos usuários do transporte público. Há também discussão sobre se a tarifa deve ser proporcional à distância de viagem. Nos transportes coletivos interurbanos é comum estabelecer tarifa de acordo com a distância. Porém, quando se trata de transporte urbano, leva-se em consideração o fato de que a população mais carente habita a periferia das cidades e que, portanto, viajam distâncias maiores. E assim, geralmente se adota uma tarifa única para toda a cidade. Com essa política de tarifação a população mais pobre estaria sendo beneficiado.

## 1.5. Transporte e os aspectos ambientais

Os aspectos ambientais vêm recebendo importância crescente no mundo atual. Cada vez mais as pessoas estão se conscientizando de que muitas das atividades humanas, principalmente a de transporte, exercem efeitos maléficos ao ambiente natural. Alguns desses efeitos vêm sendo largamente pesquisados, discutidos e divulgados, como é o caso da destruição gradativa da camada de ozônio. Porém, grande parte dos técnicos da área de transporte e usuários de transporte em geral ainda não se conscientizaram do problema ambiental que os gases e particulados emitidos diretamente pelos veículos ou indiretamente pelas usinas termoeletricas podem causar no meio ambiente e particularmente no homem. Durante muito tempo apenas o uso dos recursos naturais escassos foi explicitamente tratado como custo de transporte. Porém, esse custo reflete tão somente o preço de mercado e não reflete o custo global à sociedade. Para simplificar a discussão, vamos dividi-la em duas partes: poluição e consumo do solo.

### 1.5.1. Poluição

Um dos subprodutos indesejáveis da maioria das tecnologias de transporte é a poluição do ambiente natural. A contaminação do ar por gases e particulados emitidos por várias fontes, inclusive por veículos, é uma das formas de poluição mais sérias e mais difíceis de serem combatidas. Quando os resultados dessa poluição se somam à poluição de fontes estacionárias, a concentração total pode tornar-se muito desagradável ou até perigosa à saúde. Diz-se, muitas vezes, que 80 a 90% da poluição do ar de São Paulo se deve à poluição causada pelo tráfego.

Uma outra forma de poluição muito desagradável, tanto física como psicológica, é o ruído. É um produto indesejável de quase todo movimento. Porém, ao contrário da poluição do ar, a poluição sonora cessa tão logo a fonte de emissão do som seja removida. Tal como no caso da poluição atmosférica, os maiores prejudicados são aqueles que moram na vizinhança de trechos de estrada, onde veículos operam a alta velocidade ou aceleram fortemente (por exemplo, instantes antes do início de aclives), e de aeroportos. Atualmente estão em curso várias pesquisas que têm como objetivo atenuar os ruídos na fonte ou durante a propagação.

### 1.5.2. Uso do Solo

A rápida urbanização da população exige uma constante expansão da capacidade de infraestrutura de transporte urbano. Tal expansão geralmente é feita através de uso do solo para implantação de grandes avenidas e de sistema de transporte de massa como o metrô. Infelizmente as grandes obras de infra-estrutura são acompanhadas de consequências indesejáveis, tais como a divisão de uma zona em duas partes pouco comunicáveis, uma vez que essas obras restringem a passagem de um lado para outro a alguns pontos, além de muitas vezes modificar o uso do solo. Porém, de todos os problemas talvez o mais grave seja a remoção de famílias e empresas localizadas na faixa determinada pelo traçado da via para outros locais. Mesmo as pessoas não atingidas pela desapropriação, certamente vão sofrer alguns efeitos negativos do novo uso do solo, tais como poluição e exposição a riscos de acidentes. Por estas razões, é preciso que a escolha do traçado seja feita com muito cuidado e critério, para que prejudique o menor número possível de pessoas e empresas.

---

## 2. ANÁLISE DE SISTEMAS DE TRANSPORTE

---

### 2.1. Introdução

O objetivo principal deste capítulo é apresentar alguns conceitos da abordagem de sistemas para resolução de problemas em geral, que serão posteriormente estendidos para resolução de problemas de transporte. A parte conceitual está baseada no livro "Engenharia de Sistemas: Planejamento e Controle de Projetos", preparado por pesquisadores do Grupo de Análise de Sistemas do INPE, em 1972.

#### 2.1.1. Definições

- O que é sistema?

*O sistema é definido como um conjunto de partes que se interagem de modo a atingir um determinado fim, de acordo com um plano ou princípio;*

ou *Um conjunto de procedimentos, doutrinas, idéias ou princípios, logicamente ordenados e coesos com intenção de descrever, explicar ou dirigir o funcionamento de um todo.*

Normalmente, ao estudarmos sistemas, usamos com maior frequência a primeira definição. Existem várias outras definições de sistemas, e sua escolha depende basicamente da ênfase que mais interessar ao procurar resolver um problema.

- O que é abordagem de sistemas (enfoque sistêmico)?

*A abordagem de sistema é um processo de análise no qual se procura disciplinar o bom-senso e a intuição através de um raciocínio lógico e uma análise formal do problema. Caracteriza-se pela análise do problema como um todo, preocupando-se com as interfaces entre suas diversas partes, pela reunião de equipes interdisciplinares, pelo estabelecimento de uma linguagem comum entre os diversos especialistas, enfatizando a necessidade de iteração e avaliação permanente.*

Os principais elementos relacionados aos conceitos de sistemas são: o meio ambiente, entrada (recursos), saídas (resultados), retro-alimentação (controle) e modelo.

Entende-se por *meio ambiente de um sistema* o conjunto de todos os objetos que não fazem parte do sistema em questão, mas que exercem alguma influência sobre a operação do mesmo. A determinação do meio ambiente envolve a definição da fronteira do sistema.

*Recursos ou insumos* (entrada) são o conjunto de pessoas, materiais, informações, etc., fornecidos ao sistema. Encarando o sistema como um processo, estes recursos são processados, obtendo-se no final *produtos ou resultados* (saída).

Em face das definições acima, o sistema de transportes pode ser definido como um conjunto de partes (veículos, vias, terminais) que se interagem de modo a promover deslocamento espacial de pessoas e mercadorias, segundo vontade dos usuários, programação dos operadores, e regras estabelecidas. Quanto ao ambiente do sistema de transporte, se o considerarmos encerrado num retângulo, o seu ambiente é tudo que se encontra fora do retângulo.

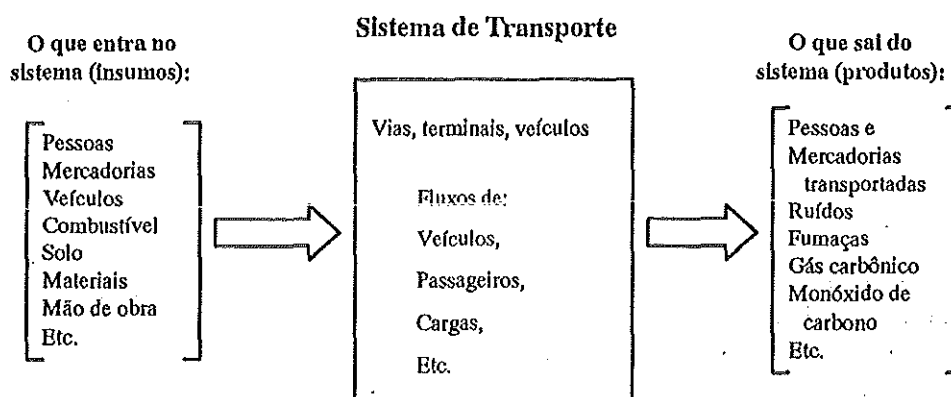


Figura 1.1: Sistema de transporte, com entradas e saídas

Em um sistema de transporte urbano o seu ambiente é constituído de atividades desenvolvidas nas residências, no comércio, nas indústrias, nas escolas, etc. As entradas são os insumos consumidos na produção de transporte e as cargas e pessoas a serem transportadas. A saída do sistema são as coisas transportadas e os subprodutos, geralmente indesejáveis, do processo de produção de transporte, tais como monóxido de carbono, ruídos, fumaça, etc., que serão estudados em detalhe no Capítulo 8, onde serão analisados os principais impactos ambientais.

#### • Representação de sistemas

De uma maneira geral, os sistemas são representados por modelos. O modelo é uma abstração, uma representação simplificada de um sistema, para facilitar a análise e/ou projeto do mesmo. O modelo é utilizado por duas razões básicas: a) porque torna mais simples o estudo do sistema, para que se possam tirar conclusões úteis; e b) pela impossibilidade de se levar em consideração todas as características e aspectos da realidade, que é muito complexa.

A construção de um modelo é baseada em informações obtidas da realidade através da observação e/ou medida. A principal vantagem de modelos é que eles permitem experimentação e/ou estudos de situações que ainda não existem ou que não devam ser experimentadas na vida real. Por exemplo, os efeitos de um acidente automobilístico em alta velocidade sobre um ser humano podem ser medidos experimentalmente.

Para um analista de sistema, o que importa, a cada instante, é o modelo do sistema, o qual deverá ser confrontado continuamente com a realidade. No entanto, para que este confronto seja eficaz é necessário que exista algum critério de medida da adequação do modelo à realidade. É o

melhor critério é a confrontação permanente dos resultados deduzidos através de modelos com os objetivos estabelecidos para o mesmo. Porém, só se pode confiar neste confronto se os objetivos estiverem definidos em termos operacionais, de modo a permitir uma verificação adequada dos resultados.

### 2.1.2. Enfoque sistêmico aplicado à análise e ao planejamento de sistemas de transporte

A análise de sistemas de transporte com a abordagem de sistema pode ser descrita como uma análise lógica e coordenada de cada unidade elementar do sistema, usando a mais recente metodologia. Essa abordagem se caracteriza por um processo iterativo em que caminham lado a lado a definição do problema e a determinação da solução. O processo pode ser sintetizado na forma de fluxograma como segue:

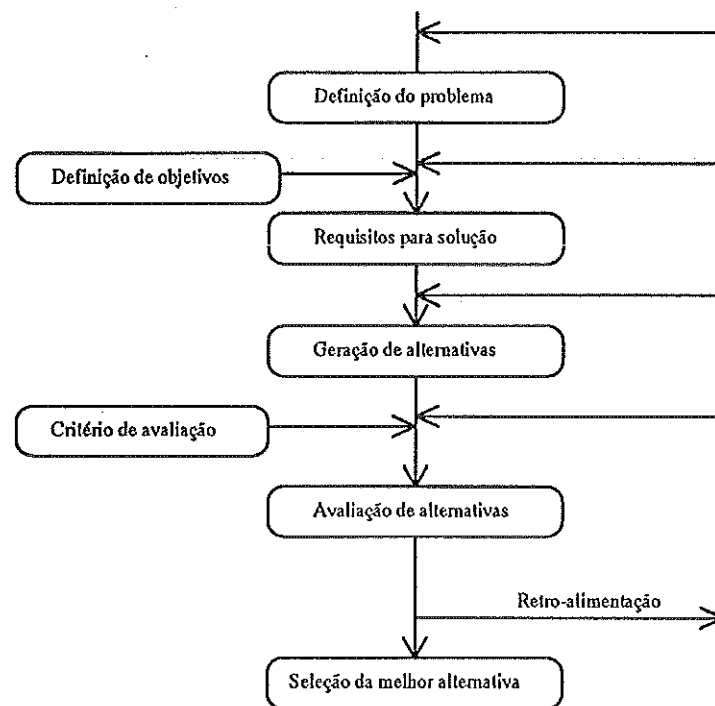


Figura 1.2: Processo de seleção de planos, programas ou projetos

A análise de sistemas transporte pode ser realizada em três etapas básicas. A primeira etapa refere-se ao diagnóstico de um sistema de transporte existente, tendo-se em vista a situação presente e o futuro previsível. Os problemas existentes ou que poderão ocorrer no futuro próximo são geralmente detectados nesta etapa. Uma vez caracterizados os problemas, são definidos os objetivos e passa-se para a segunda etapa, que trata da análise dos planos, programas ou projetos alternativos, dos impactos das estratégias adotadas na seleção de alternativas para o plano de transporte, e da estimativa de custos e benefícios das várias estratégias. A terceira etapa está relacionada à avaliação de planos, programas ou projetos alternativos e à análise dos impactos das estratégias de tomada de decisão. Esta fase representa uma síntese dos resultados das duas primeiras etapas.

O enfoque adotado reconhece a importância das atividades não quantitativas no esforço de planejamento. Na verdade, busca-se um equilíbrio entre os aspectos quantitativos e qualitativos a serem considerados na análise. Embora a quantificação seja importante e a análise não possa prescindir dela, o analista de sistema de transporte deve sempre lembrar que a atividade de



análise de sistema é fundamentalmente uma atividade política, em que o ferramental para quantificação desempenha o papel que lhe cabe: o de dar suporte à análise.

A importância do transporte no desenvolvimento social e econômico foi discutida no Capítulo 1 - Introdução. Em termos de uma nação ou uma região, o planejamento de transporte só terá sucesso se ele estiver integrado ao planejamento social e econômico da nação ou região, pois o transporte por si só não assegura o desenvolvimento sócio-econômico. O seu papel precípua é propiciar condições para que o planejamento social e econômico tenha sucesso. O sucesso deste é que dá a medida do sucesso do planejamento de transporte. Ainda em relação a uma nação ou uma região, é preciso que ela estabeleça uma diretriz que indique como os recursos devem ser alocados dentro do setor de transportes.

A oferta de transporte geralmente envolve um grande volume de recursos escassos. Portanto, de um lado é necessário que os recursos sejam bem aplicados, isto é, aplicados de maneira que proporcionem o máximo de benefícios sociais e econômicos. De outro lado, é preciso que aquilo que foi construído ou ofertado seja bem utilizado, pois o uso desordenado ou inadequado da infra-estrutura ou de uma frota de veículos significa que a oferta de transporte não vai proporcionar à sociedade o máximo de benefícios. Para tanto é preciso que se dê

A principal característica introduzida para atingir este objetivo é a ênfase ao diagnóstico, etapa do processo de análise do sistema de transporte que é interdisciplinar e participativa por natureza, e viabilize a participação de que segmentos da sociedade na discussão do mesmo. Convém lembrar que muitas vezes o sistema é diagnosticado com pouca frequência, geralmente quando se pretende elaborar um plano diretor para o setor de transporte em qualquer nível governamental, ou quando se analisa projetos alternativos para o sistema, ou ainda quando se percebem problemas reais ou iminentes, relativamente graves, no sistema. As etapas subsequentes são calcadas no diagnóstico. Assim, a identificação dos problemas e a geração de alternativas não são conduzidas em um contexto idealizado, e sim baseadas nas análises e discussões conduzidas na fase do diagnóstico. Com isso a credibilidade e a aceitabilidade política são fortalecidas.

## 2.2. Metodologia para análise de sistema de transporte

A análise de sistemas de transporte acima discutido pode ser detalhado em doze passos principais, cada qual contendo um certo número de tarefas. Estes passos são organizados em uma seqüência lógica. Deve-se sempre lembrar que esses passos são inter-relacionados, e que existem interação entre eles.

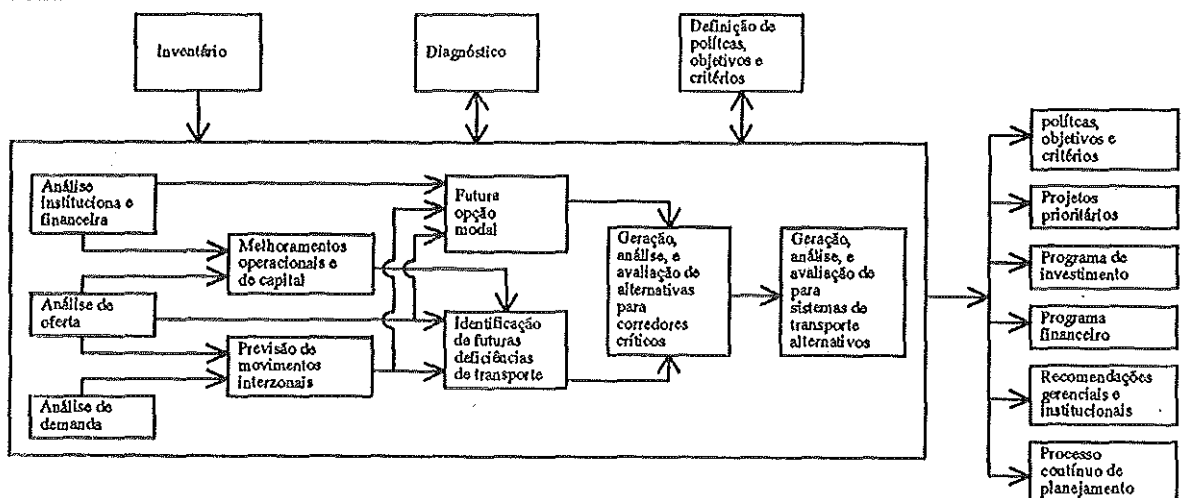


Figura 1.3: Passos do processo de análise de sistemas de transporte

O fluxograma mostrado na Figura 1.3 mostra os doze passos para análise de sistemas de transporte e indica as inter-relações entre eles. Estes passos são os seguintes:

- 1) Inventário
- 2) Diagnóstico
- 3) Definição de políticas, objetivos e critérios
- 4) Análise institucional e financeira
- 5) Análise de demanda
- 6) Análise de oferta
- 7) Melhoramentos operacionais e de capital
- 8) Previsão de movimentos interzonais
- 9) Análise da escolha do futuro modo de transporte
- 10) Identificação de futura deficiência de transporte
- 11) Análise e avaliação das alternativas para os corredores críticos
- 12) Análise e avaliação de sistemas alternativos.

Apesar de a Figura 1.3 mostrar uma relação unidirecional entre um passo e outro, à medida que a discussão se avança, tornar-se-á evidente que as relações envolvidas são mais complexas, e que existem interações, particularmente entre as diversas tarefas. As setas indicadas na Figura 1.3 representam tão somente as relações de primeira ordem do processo. Conforme afirma Lima (1991), a avaliação deve estar presente em todas as etapas da elaboração de um plano de transporte. As informações e estimativas, referentes ao uso do solo, às condições do sistema viário, às características da oferta e da demanda, às variáveis sócio-econômicas e às condições de financiamento de projetos, devem estar permanentemente realimentando e, quando for o caso, reformulando os objetivos e as metas traçadas.

### 2.2.1. Inventário

A primeira atividade da análise de um sistema de transporte deve ser a coleta de dados, estudos e planos realizados sobre e para o sistema em questão. O ideal seria que uma programação prévia fosse feita no sentido de determinar de que forma e em que nível de detalhe os dados devem ser coletados, uma vez que o nível de detalhe e de agregação dos dados requeridos depende muito do objetivo da análise.

A coleta de informações é uma base indispensável para o planejamento. Um inventário inicial feito através de buscas sistemáticas logo mostrará que certos dados são deficientes ou inexistentes. Essas deficiências devem ser claramente identificadas.

O inventário é composto de vários tipos de informações. Ele inclui dados sobre o setor de transporte da região em estudo, dados sócio-econômicos, uma lista com descrição dos planos e políticas municipais, regionais, etc., e uma identificação dos modelos analíticos e de previsão disponíveis ao planejador de transportes. Os dados sobre o setor de transportes incluem dados sobre tráfego, infra-estruturas disponíveis, instituições relacionados ao transporte, gastos em transporte, impactos ambientais, tecnologias disponíveis, e uma lista de todas as políticas e objetivos do setor de transporte. Estas informações serão utilizadas principalmente na análise de demanda e de oferta.

Quanto ao inventário dos planos e políticas regionais e nacionais, este consiste de uma compilação e condensação de planos de desenvolvimento econômico que impactam o sistema de transporte ou cujo sucesso da sua implementação depende muito dos serviços de transporte.

Os dados sócio-econômicos são necessários na medida em que fornecem base para a análise e avaliação de planos alternativos, pois muitas vezes a avaliação é feita usando-se o critério de acessibilidade e equidade social.

Políticas e objetivos que dirigem o desenvolvimento social e econômico de uma região ou uma nação, bem como setores específicos da economia, serão incluídos quando tiverem implicações no setor de transporte.

### **2.2.2. Diagnóstico**

O diagnóstico tem importância fundamental na análise de sistema de transporte. Qualquer decisão de intervir ou não no sistema está calcada no resultado do diagnóstico. Ao diagnosticar um sistema, analisam-se as tendências históricas dos fatores que dão forma ao sistema de transporte, estuda-se o sistema atual para entender como ele funciona, por que razão ele funciona de tal maneira, os obstáculos à melhoria do sistema, e onde efetuar possíveis melhorias. O diagnóstico leva em consideração o papel dos recursos humanos, recursos naturais, tecnologia, política em todos os níveis, e forças institucionais a fim de analisar as características do desenvolvimento histórico, analisar a situação atual, identificar problemas e conflitos aparentes no desempenho do serviço de transporte, e formular conclusões referentes aos obstáculos e problemas ao bom desempenho do sistema.

O diagnóstico servirá ao longo do processo de planejamento como uma diretriz geral na determinação do nível de esforço a ser dedicado a um problema específico e como um mecanismo para estabelecer uma certa coordenação e consenso entre políticos e técnicos. A identificação e análise dos problemas devem ser feitos de acordo com o diagnóstico, ou técnicos devem justificar a razão da divergência de opinião em relação à identificação ou importância dos problemas.

### **2.2.3. Definição de políticas, objetivos e critérios**

O desenvolvimento de um plano para um sistema de transporte consubstancia uma série de julgamentos de valores, avaliações, e escolhas. Identificação e análise preliminar dos problemas, feitas na fase de diagnóstico, sintetizam os problemas de planejamento. A priorização dos problemas é feita com base em um conjunto de valores e critérios implícitos. A fim de racionalizar o processo de planejamento e assegurar que decisões sejam baseadas no reconhecimento explícito dos fatores envolvidos, deve ser feita a identificação formal das políticas, objetivos e critérios. Os critérios (medidas de desempenho), as políticas e os objetivos serão traçados a partir do levantamento de dados e diagnóstico da situação, e servirão de base para formulação de padrões e para avaliação de planos alternativos. Os objetivos e políticas devem ser explicitamente formulados e servirão para orientar a geração de alternativas. É importante que eles representem o pensamento corrente. Quanto aos critérios e padrões para comparação, podem ser desenvolvidos e refinados no decorrer do programa de planejamento.

### **2.2.4. Análise institucional e financeira**

O desenvolvimento de um projeto de transporte eficaz e implementável requer uma compreensão e estimativa dos fatores institucionais e financeiros. O desenvolvimento de um projeto que vá de encontro à expectativa de uma região depende fortemente das forças e restrições políticas, institucionais e financeiras que operam no setor de transporte. O sucesso da operação do sistema de transporte depende do gerenciamento e coordenação eficientes.

O maior propósito da análise institucional e financeira é prover uma base subjacente à orientação e avaliação dos elementos que constituem o plano. A importância de tal análise

decorre do fato de que decisões de transporte são baseadas tanto nas considerações político-institucionais como na análise técnica.

A análise institucional consiste em: (1) identificar as principais atividades de transporte em que o setor público está direta (como operador) ou indiretamente (regulamentando) envolvido, bem como o nível de envolvimento; (2) preparar uma análise dos efeitos da regulamentação e gerenciamento governamental na oferta do serviço de transporte; (3) gerar informações a fim de identificar os beneficiários e não beneficiários da regulamentação, e para monitorar e avaliar as empresas regulamentadas; (4) Identificar restrições para a implementação dos mecanismos de regulamentação.

Por sua vez, a análise financeira basicamente consiste em: (1) determinar as fontes de financiamento público; (2) identificar e analisar, para cada modo em operação, os impactos de cada opção de financiamento sobre os usuários e não usuários; (3) determinar a quantia e forma de subsídio cruzado (p.e, um modo subsidiando outro ou uma classe de usuários subsidiando outra classe), e examinar as contradições sobre o efeitos distributivo, se é que existem.

#### **2.2.5. Análise de demanda por transporte**

A futura demanda por transporte não pode ser prevista sem que se analise em primeiro lugar a demanda presente. A demanda presente é analisada a fim de compreender as relações entre distribuições espaciais de recursos, população, e atividades sócio-econômicas. Estas relações podem ser utilizadas para prever a futura demanda por serviços de transporte. A primeira tarefa consiste em dividir a área a ser estudada em zonas de tráfego, para facilitar a análise. Em seguida se determinam os fluxos de mercadorias que entram e saem (déficits e excedentes) de cada zona de tráfego, que são resultantes das produções e consumo na zona. E o volume de pessoas que entram e saem de uma zona, que depende basicamente das características da zona, tais como população, renda média, atividades desenvolvidas, etc. O volume atual dos fluxos, tanto de bens como de pessoas, é determinado pela análise da matriz origem-destino. Esses fluxos são projetados para o futuro, levando-se em consideração as possíveis modificações no padrão de uso do solo, nas atividades de cada zona e na oferta de transporte. A repartição modal depende do desembolso e do nível de serviço dos modos alternativos.

#### **2.2.6. Análise de oferta de transporte**

A oferta de transporte refere-se a todos os componentes físicos e operacionais do sistema de transporte, incluindo veículos, vias e terminais que estão disponíveis. O inventário fornece elementos que servem como base da análise da oferta e o diagnóstico serve para direcionar a análise da oferta. Em primeiro lugar, a oferta de transporte é apresentada na base interzonal para que ela permita uma análise compreensiva a nível de sistema a para que ela permita comparações com a demanda prevista. Em segundo lugar, adota-se uma medida de desempenho (em termos de nível de serviço e custo aos usuários) dos componentes específicos e do sistema como um todo, sob diferentes condições de tráfego. Em terceiro lugar, são analisados os custos para os não usuários, tanto os monetizáveis como os não monetizáveis.

#### **2.2.7. Previsão de movimentos interzonais (equilíbrio demanda-oferta)**

A previsão da futura demanda por transporte de cargas e de passageiros é uma das etapas mais importantes na identificação das deficiências e no desenvolvimento das estratégias alternativas para eliminar as deficiências. A previsão do tráfego interzonal de cargas e passageiros na rede de transporte será realizada como segue: (1) no caso de transporte de mercadorias, os fluxos são estimados em função de futuros excedentes e déficits de cada classe

ou tipo de mercadoria. No caso de passageiros, os fluxos são determinados em função da distribuição espacial das atividades, das características sócio-econômicas dos habitantes de cada zona, da separação física entre as zonas e as características de oferta de transporte interzonais.

#### **2.2.8. Melhoramento físico dos componentes e aumento da eficiência operacional**

Dado que o desenvolvimento de grandes projetos tais como rodovias, ferrovias, metrô, portos, aeroportos, etc., requerem grande volume de investimento, é essencial que todo esforço seja dispendido no sentido de maximizar o uso dos componentes do sistema de transporte (vias, terminais, instalações, veículos e equipamentos de transporte) existentes. Esse objetivo pode ser atingido através do aumento da eficiência no uso dos componentes, que por sua vez pode ser conseguido por intermédio do aprimoramento operacional, da manutenção (de preferência preventiva), e de práticas gerenciais modernas e eficientes, ou mesmo através de uma progressiva melhoria promovida nos componentes físicos, tais como implantação de terceira faixa nos aclives mais acentuados, construção de mais um berço de atracação de navios no porto, etc.

A formulação e análise destes melhoramentos requerem significativas informações concernentes à oferta de transporte e aos aspectos institucionais e financeiros. O escopo e a orientação dos melhoramentos podem ser dirigidos, em boa parte, pela importância atribuída a cada um dos problemas identificados na fase do diagnóstico. Em primeiro lugar, deve-se identificar melhoramentos que podem ser feitos na operação e na manutenção, bem como estimar os respectivos custos e economias esperados. Esses dados são usados para desenvolver as estratégias mais atrativas e também para conseguir recursos para a implementação dos melhoramentos. Em segundo lugar, devem ser analisados os possíveis melhoramentos físicos. Recomenda-se que a priorização dos melhoramentos seja feita com base na análise benefício-custo aplicado a esses melhoramentos alternativos.

#### **2.2.9. Futura opção modal**

O melhoramento do sistema atual não é a única maneira de se ajustar à futura demanda por serviço de transporte. Vários modos de transporte, novos ou atualmente subdesenvolvidos, podem ser considerados. Uma análise preliminar dos modos alternativos deve ser realizada para cada um dos corredores em situação crítica identificados na fase de Identificação de Futura Deficiência de Transporte. O objetivo desta fase é mais voltado para a análise da potencialidade de novos modos, e para a preparação de informações para a futura análise modal.

Nessa análise estima-se a proporção de mercadorias e de passageiros que provavelmente serão atraídos por cada uma das novas opções modais. Seguindo esta linha de análise, será possível caracterizar os fluxos interzonais em potencial e esboçar planos correspondentes para novas conexões intra e intermodais. Finalmente, para cada nova conexão modal serão analisadas as restrições orçamentárias e um conjunto de impactos econômico, social, político, e ambientais. A análise de futuras opções modais fornece informações fundamentais para toda análise modal a nível de corredor e de sistema.

#### **2.2.10. Identificação de futura deficiência de transporte**

A determinação de futuras deficiências de transporte, no espaço ou no tempo, é a etapa crítica do processo de planejamento. De fato, a maior parte dos subseqüentes esforços de planejamento estarão baseados na geração e avaliação de soluções alternativas para os problemas de transportes identificados nesta fase.

Futuras deficiências de transporte podem ser identificadas analisando o desempenho do atual sistema de transporte quando confrontado com a demanda por transporte que provavelmente ocorrerá no futuro. Os "gargalos" identificados serão anotados para análise mais detalhada. Este processo adota duas suposições. Na primeira, supõe-se que nenhuma nova infraestrutura de transporte que possa aliviar a demanda futura será introduzida. Na segunda, supõe-se que demandas previstas não serão afetadas pelo desempenho das ligações.

Em seguida, analisa-se o desempenho do sistema com melhoramentos operacionais definidos na etapa anterior. Os benefícios e custos devidos aos melhoramentos podem ser medidos analisando-se a diferença de desempenho entre o sistema sem melhoramentos e o sistema com melhoramentos. De maneira semelhante, os benefícios e custos dos melhoramentos de capital (dos componentes físicos do sistema) poderão ser medidos em relação ao sistema atual com ou sem melhoramentos operacionais.

Finalmente, deve-se definir "corredores críticos" como conexões interzonais destacando-se futuras deficiências neles previstas, as quais devem receber atenção especial.

#### **2.2.11. Geração, análise e avaliação de alternativas para corredores críticos**

Os corredores alternativos devem ser analisados apenas para as ligações onde são previstos sérios problemas e deficiências. Os corredores podem ser ordenados de acordo com a sua importância, e as alternativas geradas para eles devem ser associadas aos modos de transportes específicos. A ordenação de corredores tem como objetivo priorizar as necessidades mais críticas de longo prazo. O uso de diferentes modos, como uma base de alternativas, simplifica a análise de custos, benefícios e impactos associados a elas. O conhecimento dos modos de transporte potencialmente mais eficientes e eficazes no corredor mais crítico será muito valioso na subsequente geração e análise de alternativas.

Os modos que forem considerados opções de longo prazo mais adequados para os corredores mais importantes, deverão ser expandidos em rede.

O estudo de cada alternativa de corredor deve ser dirigido, em boa parte, pelo diagnóstico - pela ênfase e prioridade dadas a certos corredores e ao desenvolvimento de certas tecnologias de transporte.

Para cada uma das alternativas, devem ser analisados e determinados os respectivos custos, benefícios e as restrições à implementação. Os custos e benefícios devem ser quantificados na medida do possível. Caso contrário devem ser analisados qualitativamente. Portanto, para cada alternativa deve-se analisar os seguintes elementos:

- *Custos de capital.* Estimar os custos de capital de construção e instalação, usando o método dos custos unitários. Incluir também os custos de capital para ofertar uma capacidade de frota adequada. É conveniente que esses custos sejam mantidos na forma desagregada para facilitar seu uso nas etapas subsequentes do processo de planejamento.
- *Custo operacional e de conservação e manutenção.* Estimar os custos anuais de operação e de manutenção, também baseado em custos unitários.
- *Receitas.* Estimar as receitas que poderão ser arrecadadas dos usuários do serviço de transporte baseado na previsão dos volumes de tráfego induzido e desviado para o corredor.
- *Custos de energia e recursos.* Determinar as fontes e a quantidade de energia que serão requeridas para a operação e implantação da alternativa. Analisar o custo de oportunidade da utilização de determinado combustível e a possibilidade de se usar combustíveis substitutos. Identificar outros recursos escassos e não renováveis que serão consumidos.

- *Impacto de uso do solo.* Analisar os possíveis impactos a longo prazo do modo sobre o uso do solo num corredor.
- *Benefícios ao desenvolvimento econômico regional e nacional.* Analisar os impactos a longo prazo no desenvolvimento regional levando-se em conta as atividades existentes, tais como agricultura, indústria, comércio, e quaisquer outras atividades propostas. Estimar a variação no nível de atividades e o volume de novos equipamentos e materiais que serão adquiridos graças ao projeto, bem como da parcela que depende da importação ou da tecnologia externa. Analisar os impactos locais em termos de número de empregos, desagregados em diferentes níveis de especialização.
- *Impactos ambientais.* Analisar os impactos sobre a qualidade do ar, níveis de ruído, e a qualidade da água. Na medida do possível, determinar as atividades que serão afetadas (pesca, por exemplo), a irreversibilidade dos impactos, a magnitude e extensão dos impactos (por exemplo, quantas pessoas serão afetadas e em que grau), e impactos sobre a saúde.
- *Qualidade de serviço.* Estimar a mudança na confiabilidade, capacidade, frequência de serviço, tempo de transferência inter e intra modal, e tempo total de viagem.
- *Segurança.* Estimar a modificação no número e gravidade dos acidentes e dos danos materiais causados.
- *Características de mercadorias.* Analisar a capacidade de ajuste do modo à variação sazonal da demanda por transporte de carga, à perecibilidade dos produtos agro-pecuários e de pesca, às características tais como cubagem e valor da mercadoria, e à necessidade ou não de veículos especiais e equipamentos de movimentação da carga.
- *Características do transporte de passageiros.* Estimar a adequabilidade de cada plano alternativo às características de viagem naquele corredor. Considerar a sazonalidade das viagens, viagens a lazer de fins de semana, e as necessidades pessoais dos viajantes. A acessibilidade das pessoas ao transporte público deve ser cuidadosamente analisada levando-se em conta a distribuição de renda familiar, posse de veículos, e padrão de distribuição da população. Estimar quaisquer outros benefícios sociais que sejam relevantes.

### 2.2.12. Geração, análise e avaliação de alternativas para o sistema de transporte

Nesta etapa do processo de planejamento, todos os estudos especiais e todas as informações e análises geradas isoladamente são considerados na formulação e avaliação de uma gama de estratégias alternativas. Um plano regional ou nacional representa um conjunto de ações coerentes com o objetivo de estimular e dar suporte ao desenvolvimento racional de uma região ou de um país. Assim, o plano deve considerar as metas sociais, econômicas, políticas, e ambientais da região ou do país.

Os sistemas alternativos constituem a substância do plano de transporte para uma região (cidade, inclusive) ou uma nação. Um sistema alternativo não significa que será constituído de um único modo. Ao contrário, geralmente tem a característica de multimodalidade, em que se procura tirar o máximo proveito das vantagens de cada modo. Por exemplo, sabe-se que numa metrópole como São Paulo ou Rio de Janeiro é preciso um modo de transporte urbano de grande capacidade. Se São Paulo não possuísse as linhas de metrô atualmente em operação, e o sistema de transporte coletivo fosse ainda baseado em ônibus, provavelmente o trânsito da cidade estaria numa situação ainda mais precária. No entanto, não significa que São Paulo possa prescindir de ônibus, pois mesmo que a rede de metrô venha a cobrir a cidade inteira, o custo de implantação de linhas de metrô impediria que a malha fosse muito fina. Uma linha de metrô, que tem grande capacidade mas que exige grande investimento, só é economicamente justificável se

a demanda for também grande. Os ônibus podem servir muito bem aos corredores de menor demanda ou como coletores e distribuidores das linhas de metrô. Conseqüentemente, é importante que se olhe para os diferentes modos como complementares, e é importante que se tire partido dessa complementaridade.

Conforme foi discutido anteriormente, numa avaliação é importante que se defina a tecnologia mais adequada para cada faixa de demanda. É preciso que os planos sejam desenvolvidos tendo-se em vista essas tecnologias. E, claro, não é necessário que se implante de uma só vez aquilo que seria desejável. Mesmo porque, na realidade, a implantação só ocorre na medida da possibilidade financeira. Porém, é preciso que o plano seja concebido de uma forma global, indicando as prioridades e apresentando o cronograma de implantação, além de mostrar a concatenação entre subsistemas em cada fase do plano.

Além disso, os sistemas alternativos devem conter programas de tarifação e de financiamento, restrições orçamentárias, estratégias operacionais, e regulamentações. Cada sistema alternativo deve conter várias sub-alternativas que reflitam as estratégias de financiamento, orçamento e de operação.

Uma vez escolhido o plano alternativo, a demanda deve ser reavaliada levando-se em consideração as características dos subsistemas e do sistema como um todo. No curto prazo, mudanças no nível de serviço causadas pela eventual introdução de novos modos ou modificação na estratégia operacional dos modos existentes estimularão a redistribuição de fluxos de tráfego. No longo prazo, fluxos de tráfego divergirão da previsão inicial por causa das decisões dos empresários e dos moradores, com relação a localização das empresas e das residências baseados na mudanças no nível de serviço e no custo monetários dos serviços de transporte.

Para fins de análise e avaliação de sistemas alternativos para o plano de transporte, é preciso que se juntem informações a respeito de mais alguns aspectos além dos indicados na subseção 2.2.11.

- *Fontes de financiamento.* Analisar as fontes de financiamento potenciais, determinando as suas atratividades e aceitabilidade. O financiamento pode ser obtido de diferentes fontes: governo federal, governo estadual, prefeitura, instituições de apoio a desenvolvimento, tarifas e taxas cobradas dos usuários, setor privado, empréstimo externo, etc.
- *Impactos sobre instituições.* Identificar impactos sobre as estruturas e capacidades das instituições que têm as responsabilidades operacional, gerencial, e de planejamento. Identificar novas responsabilidades (financeiras, administrativas e de regulamentação) que seriam requeridas das instituições públicas caso a alternativa proposta seja implementada.
- *Reações políticas e institucionais.* Identificar e analisar fontes de potenciais oposições e apoios para cada uma das alternativas e, em particular, com relação aos sindicatos de trabalhadores e patronais, além de corporações de desenvolvimento regionais e estaduais.

### 2.3. O Plano

O plano que resulta das atividades descritas acima inclui um conjunto de documentos que dão uma diretriz às decisões de investimento em projetos específicos e o desenvolvimento geral do sistema de transporte. É um plano geral de longo prazo, do qual podem ser gerados planos de curto prazo. Ele não estabelece um cronograma rígido. Ao invés disso, apresenta uma lista de projetos prioritários, com respectivos programas de investimento, ao qual pode ser associado o elemento tempo, de acordo com as prioridades estabelecidas, plano de governo e recursos disponíveis.



A produção do plano não deve ser visto como término do processo de planejamento. É importante entender que o processo de planejamento é contínuo, e que os documentos gerados no fim do estudo fornecerão uma base para a continuidade do trabalho de planejamento. Abaixo encontram-se uma breve descrição dos documentos específicos que resultarão do estudo:

- *Definição de políticas, objetivos e critérios.* Reiterando o que foi discutido na subseção 2.2.3, o objetivo deste documento é dirigir e avaliar os futuros projetos (não necessariamente os da área de transporte) que podem interferir no plano. Experiência adquirida com análises realizadas durante o estudo deve ser aproveitada para modificar, quando se notar a sua conveniência, as políticas definidas na subseção 2.2.3. Isto é particularmente importante na medida em que análises gerarão medidas de vários impactos e consequências das estratégias de transporte. Este documento deve ser o resultado de discussões na cúpula da política de transporte concernente ao plano.
- *Projetos prioritários.* Este é o resultado mais concreto do processo de planejamento. O conjunto de projetos anteriormente identificados na análise de corredores, combinados com a análise de sistemas de transporte alternativos, passam a ser ordenados inicialmente com base na sua importância relativa dentro dos respectivos corredores, e em seguida com base na importância relativa do corredor no sistema de transporte como um todo. Esta lista com ordem de prioridade dos projetos fornece a base para estabelecer o programa de investimento. Mas, o mais importante é que ela dá ao tomador de decisão uma valiosa informação para escolher o projeto a ser implementado. A lista de projetos fornece a base para a geração de planos de curto prazo. Dependendo dos recursos alocados à área de transporte, os planos de curto prazo podem ser gerados simplesmente seguindo a lista. Uma observação importante é que a ordenação de prioridades não deve ser vista como algo rígido, e sim como um guia que assegura a coerência das intervenções no sistema de transporte com as políticas e objetivos inicialmente definidos.
- *Programa de investimento.* Ao gerar o programa de investimento, deve-se estimar os custos dos projetos priorizados e indicar os investimentos necessários para a implantação dos projetos ao longo do tempo. Evidentemente, quanto menor for o prazo de implementação maior será a intensidade de gastos. Assim, esses fluxos de investimento devem ser confrontados com os fluxos de recursos que vão financiar a implementação.
- *Programa financeiro.* Este documento indicará as fontes e os fluxos de financiamento envolvidos na implementação do plano. Esquemas alternativos de financiamento, e as condições de cada um, devem ser apresentados.
- *Recomendações institucionais.* A implementação de um plano de transporte pode requerer algumas modificações na estrutura institucional do setor de transporte, sobretudo quando se tratar de planos a nível federal, estadual, grandes cidades, e regiões metropolitanas. Este documento, baseado na análise desenvolvida na subseção 2.2.4, poderia então sugerir arranjos institucionais alternativos para a implementação do plano e gerenciamento do sistema de transporte. Também este documento deve ser gerado a partir das discussões na cúpula da política de transporte concernente ao plano. Para que as recomendações e sugestões sejam realistas, e a fim de garantir a sua aceitabilidade política, elas devem incorporar os resultados de um processo político de discussões e deliberações.
- *Continuidade do planejamento.* Este é um dos documentos mais importantes, e deve ser preparado com o objetivo de garantir que o esforço de planejamento continue. O documento deve recomendar um ajuste organizacional para o processo de planejamento contínuo, com base na experiência adquirida durante o estudo. Entre os itens que devem ser considerados

---

incluem-se: o inventário, que deve ser organizado como uma atividade contínua a fim de manter o banco de dados sobre o sistema de transporte atualizados; e a atividade de diagnóstico periódico, talvez anual, para se inteirar dos problemas de transportes e de necessidades correntes. As várias atividades de previsão do processo de planejamento devem ser atualizadas, e os modelos analíticos devem ser atualizados com base nos dados reais obtidos através de monitoramento. Uma revisão periódica das políticas e critérios deve ser também conduzida a fim de captar as possíveis mudanças na política governamental.

O desempenho de projetos implementados como parte do plano deve ser monitorado e comparado com o previsto. Quaisquer mudanças sugeridas pelo monitoramento devem ser incorporadas na revisão do plano. Os resultados desse monitoramento auxiliará na determinação de um intervalo apropriado para revisões e modificações. Finalmente, com a experiência adquirida na condução do estudo, deve fornecer uma estimativa do número de pessoas na equipe de planejamento contínuo e o nível de especialização desejável de cada um.

#### **2.4. Conclusão**

Os objetivos principais deste capítulo eram três. O primeiro era o de ressaltar a importância do enfoque sistêmico na análise de sistemas de transporte pois podemos dizer que o enfoque sistêmico simplifica muito a análise de sistemas, e que ele é tanto mais necessário quanto mais complexo for o sistema. O segundo objetivo foi mostrar a maneira como os conceitos de enfoque sistêmicos são aplicados ao caso específico de sistemas de transporte. O último objetivo foi o de proporcionar ao leitor uma visão geral do processo de análise e planejamento de transporte ao mesmo tempo em que se familiarizam com os termos técnicos, talvez mais voltados a economistas do que para engenheiros civis. Nos próximos capítulos, a maioria dos itens apresentados serão discutidos em detalhe. Alguns tópicos (financiamento, por exemplo) serão apenas comentados e discutidos quando se fizerem necessário, mas não terão um tratamento detalhado, pois isso fugiria ao escopo deste trabalho.

---

## 3. DEMANDA POR TRANSPORTES

---

### 3.1. Introdução

Demanda por transporte é o desejo de uma entidade (uma pessoa ou de um grupo de pessoas, físicas ou jurídicas) de locomover alguma coisa (a si próprio, outras pessoas ou cargas), de um lugar para outro. Em complementação, essa demanda pode estar relacionada a uma dada modalidade de transporte ou a uma determinada rota.

É interessante notar que a demanda por transporte é consequência de outras demandas, tais como a necessidade de trabalhar, de estudar, de fazer compras, ou do desejo de fazer turismo, de ir ao cinema, etc. Por essa razão, diz-se que a demanda por transporte deriva da demanda por outras atividades. São raras as vezes que alguém se locomove apenas pelo prazer de se locomover.

A demanda por transporte pode ser aumentada ou reduzida. A instalação de telefone numa residência, por exemplo, pode contribuir para a redução da necessidade de viajar, diminuindo a demanda por transporte. Por outro lado, a propaganda das vantagens de um determinado modo de viagem ou a propaganda dos pontos negativos das modalidades concorrentes podem fomentar o desejo de usar aquele, aumentando a demanda pelo modo.

Enquanto algumas pessoas têm sua demanda satisfeita, outras se vêem impedidas de ter essa satisfação. As razões são várias: por exemplo, a distância é longa e não existe veículo capaz de realizar a viagem dentro do tempo disponível; a tarifa do meio de locomoção existente é muito elevada; o nível de serviço do transporte é muito baixo, etc. Neste caso diz-se que a demanda fica reprimida. A demanda reprimida pode ser satisfeita tão logo seja removido o impedimento.

Antes de discutirmos as razões nos levam a estudar demanda por transportes, vamos ressaltar alguns fatos que devem ser levados em consideração quando se planeja um sistema de transportes: 1) as pessoas ou empresas geralmente necessitam de transporte para se engajarem em alguma atividade; 2) a demanda por transporte dessas pessoas ou empresas nem sempre coincide em origem, destino, frequência, modalidade de viagem, tipo de veículo, etc.; 3) vias, veículos, terminais, etc., necessários para o fornecimento do serviço de transporte são

geralmente caros; 4) satisfazer a demanda de todos é uma tarefa difícil, se não impossível, quando os recursos são limitados.

Estes fatos sugerem que o atendimento da demanda deve ser feito com os devidos cuidados a fim de evitar injustiças ou o desperdício de recursos. Nesse sentido, pode-se dizer que o conhecimento da demanda por transportes de uma região ou de uma cidade é indispensável ao planejamento de transportes, na medida em que ele mostra os deslocamentos potenciais de pessoas ou de mercadorias num espaço físico, ajudando a estabelecer prioridades no atendimento, e a dimensão da oferta de transportes, além de indicar a quantidade e a localização, atual ou futura, da população beneficiada por um determinado projeto de transporte.

Além disso, a possibilidade de reprimir ou liberar a demanda, conforme antes comentada, pode ser utilizada como instrumento da política de transporte. Por exemplo, a instituição de uma zona azul na área central de uma cidade inibe o estacionamento de veículos no local. Embora a demanda pelo estacionamento nessa área não sofra diminuição, certamente diminuirá a presença de veículos particulares, dado que muitos motoristas vão ter seus desejos reprimidos pelo valor da taxa de estacionamento cobrada.

### 3.2. Análise de demanda por transporte

Análise de demanda por transporte é o processo pelo qual se procura compreender os determinantes da demanda e a maneira como eles interagem e afetam a evolução do volume de tráfego. Neste processo, o tipo, o nível, e a localização das atividades humanas são relacionados à demanda por transporte de pessoas e bens entre os diferentes pontos do espaço onde estas atividades são desenvolvidas. Os resultados desta análise são relações, freqüentemente na forma de modelos matemáticos, entre medidas de demanda por transporte (geralmente volume de tráfego), de um lado, e medidas do nível de atividades sócio-econômicas e das características dos usuários do sistema de transporte, do outro. Tais relações são freqüentemente referidas como modelos de demanda por transporte. A construção e uso dos modelos serão discutidos em detalhe nas seções subseqüentes.

É importante notar que análise de demanda é distinto da previsão de tráfego. O principal objetivo da análise de demanda é compreender os determinantes da demanda e a maneira como eles interagem e afetam a evolução do volume de tráfego. A utilização ou não dos resultados da análise, na previsão do volume de tráfego futuro, depende basicamente de o analista estar convencido de que compreendeu suficientemente os determinantes da demanda e o mecanismo de interação entre eles. Porém, um bom modelo por si só não garante uma boa previsão. Ela depende também, e muito, da metodologia aplicada na previsão e na lógica usada para a projeção de fatores exógenos.

Em termos de perspectivas para análise de demanda por transporte, nota-se que estão se processando duas mudanças básicas. A primeira, é a mudança na metodologia e no processo de planejamento que ocorrem gradualmente e alteram o papel da análise de demanda no planejamento. A segunda, é consequência da mudança no estado da arte da análise de demanda, que em parte ocorre em função do novo papel que a análise vai assumindo no planejamento, e em parte devida aos recentes desenvolvimentos analíticos.

Com relação à primeira mudança, observa-se que pouco a pouco o planejamento de transporte vem sendo considerado um processo político. Nesse sentido, o papel das análises técnicas, sejam elas quantitativa ou qualitativa, é o de dar suporte aos debates políticos com as previsões sobre conseqüências de determinadas intervenções no sistema de transporte.

Com relação à mudança no estado da arte, ou melhor, no estado da prática, o mais importante é o uso intensivo de micro-computadores de grande capacidade, atualmente acessíveis até às cidades de pequeno porte. Há alguns anos estão disponíveis, a preço relativamente baixo, programas como Sistema de Informação Geográfica (SIG) que permitem armazenar e tratar grande volume de informações com relativa facilidade. Também já estão em uso programas que associam SIG aos programas de computador voltados aos problemas de transporte.

### 3.3. Uma teoria sobre o comportamento do usuário de transporte

O comportamento do usuário de transporte pode ser explicado através da teoria do consumidor. Basta que algumas adaptações sejam feitas. A teoria normalmente apresentada nos livros didáticos é a de Hicks, denominada teoria ordinal. Além desta existem mais duas, ambas clássicas. Uma delas foi desenvolvida por Marshall e a outra por Samuelson. Colocando numa escala cronológica, a teoria de Marshall surgiu no final do século passado, a de Hicks na década de 30, e a de Samuelson na década de 40. As diferenças básicas entre essas teorias estão nas hipóteses das teorias. Marshall partiu da hipótese de que a posse de determinadas quantidades de bens, num certo período de tempo, proporciona ao indivíduo um certo nível de satisfação denominado utilidade. Embora Marshall não tenha deixado explícito, muitos economistas, tal como Simonsen, acham que Marshall considerava a utilidade mensurável. Hicks reformulou a teoria de Marshall partindo do pressuposto de que o indivíduo não é capaz de dizer quantas vezes uma coisa é mais útil ou menos útil do que a outra, mas que ele é capaz de dizer se uma coisa é mais útil, menos útil, ou indiferente a outra, ou seja, que o indivíduo é capaz de ordenar as preferências. Samuelson foi um pouco mais longe na tentativa de reconstruir a teoria do comportamento do consumidor. O seu objetivo era construir uma teoria que não passasse pela discussão da capacidade do indivíduo, e sim pelos fatos observáveis, tal como a preferência revelada.

Apesar dessas diferenças, em termos matemáticos as teorias desenvolvem-se admitindo que a um consumidor estejam disponíveis os bens 1, 2, ..., n, cujos preços unitários são respectivamente  $p_1, p_2, \dots, p_n$ . A escolha do consumidor é então transformada num problema de maximização de uma função (função utilidade para Marshall ou índice cardinal de utilidade para Hicks e Samuelson), designado por  $u(x_1, x_2, \dots, x_n)$ , sujeito a restrição orçamentária (R). Ou seja,

$$\text{maximizar } u(x_1, x_2, \dots, x_n),$$

$$\text{sujeita a } p_1 \cdot x_1 + p_2 \cdot x_2 + \dots + p_n \cdot x_n = R$$

A condição de equilíbrio do consumidor, obtida com o auxílio do multiplicador de Lagrange (L), é atingida quando as razões entre as utilidades marginais dos bens ( $u_i' = \partial u / \partial x_i$ ) e os preços correspondentes forem todas iguais, como mostra a relação (3.1). A utilidade marginal acima referida, do bem i, nada mais é do que a derivada parcial da função utilidade em relação à quantidade do bem i. É uma grandeza que decresce com a quantidade. Vamos exemplificar. O primeiro copo de leite do dia tem uma grande utilidade; o segundo copo, nem tanto; o terceiro, menos ainda; e assim por diante. Para se demonstrar a validade dessa hipótese, basta supor que a utilidade marginal de um bem seja crescente, ou seja, que a utilidade do próximo bem aumenta na medida em que se aumenta o consumo. Nesse caso, haveria tendência de concentrar o consumo em apenas um item. No entanto, na prática não se vê esse tipo de comportamento. Pelo contrário, as pessoas preferem a variedade, o que mostra que a utilidade marginal não pode



ser crescente. Ainda, supõe-se que a utilidade marginal seja sempre positiva, o que equivale a dizer que o homem é insaciável. Na realidade, esta hipótese não condiz muito com a realidade. Porém, dentro de uma certa faixa, ela pode ser admitida como verdadeira.

$$u_1'/p_1 = u_2'/p_2 = \dots = u_n'/p_n = L \quad (3.1)$$

onde:

$$u_i' = \frac{\partial u}{\partial x_i} \text{ para } i = 1, 2, \dots, n \quad e$$

L é multiplicador de Lagrange

Raciocínio idêntico pode ser desenvolvido incluindo o transporte no conjunto de bens e serviços adquiridos por um consumidor. Porém, nas situações em que o transporte é considerado uma atividade secundária, o usuário de transportes não está interessado na quantidade, e sim na qualidade. É certo que existem muitos casos em que algumas pessoas se vêem privadas de viajarem para almoçar em casa, por exemplo, por falta de condições econômicas para tal. Assim, de certa forma, a quantidade de viagens influi no bem estar do indivíduo. Porém, excluindo-se alguns casos, geralmente as pessoas desejam qualidade, isto é, rapidez, segurança e conforto em seus deslocamentos. Podemos então dizer que um indivíduo deseja maximizar a utilidade  $u$ , dada a restrição orçamentária, ou seja,

$$\text{maximizar } u(x_a, x_b, x_1, x_2, \dots, x_n)$$

$$\text{sujeita a } p_a \cdot x_a + p_b \cdot x_b + p_1 \cdot x_1 + p_2 \cdot x_2 + \dots + p_n \cdot x_n = R$$

onde  $p_a$  e  $p_b$  indicam o custo monetário de viagem, e  $x_a$  e  $x_b$ , representam a quantidade de vezes por um período de tempo que o indivíduo viaja de modo a e modo b, respectivamente.

A condição de equilíbrio do indivíduo, dados os custos por viagem,  $p_i$  e  $p_j$ , é atingida quando se verifica a igualdade expressa pela relação (3.2).

$$u_a'/p_a = u_b'/p_b = u_1'/p_1 = u_2'/p_2 = \dots = u_n'/p_n = L \quad (3.2)$$

É importante que o leitor entenda bem o significado dessa condição de equilíbrio. A relação mostra que a razão entre a derivada parcial da utilidade em relação à quantidade de viagem ( $u_a'$  ou  $u_b'$ ) e os respectivos custos, bem como as razões entre as derivadas parciais em relação à quantidade de cada um dos bens e os respectivos preços unitários, devem ser iguais. Vejamos o seu significado. A derivada parcial em relação à quantidade de um bem (utilidade marginal do bem) significa o incremento na utilidade total quando se adquire uma unidade adicional do bem. A razão entre essa quantidade e o preço unitário do bem indica o incremento médio na utilidade total proporcionado por uma unidade monetária que se gasta a mais naquele item. A utilidade máxima só será atingida quando o incremento médio na utilidade total devido a, digamos, um cruzeiro for igual para todos os bens consumidos, e também para o transporte. Para testar essa condição, vamos supor que o incremento médio devido a bem 1 seja maior do que o devido a bem 2. Nesse caso, seria preferível gastar um cruzeiro a mais com o bem 1 e um cruzeiro a menos com o bem 2, pois assim seria possível aumentar a utilidade total. Mas, se é possível aumentar, significa que ainda não atingiu o máximo. Podemos então concluir que a utilidade máxima só é atingida quando se verificam aquelas igualdades. Resolvendo o sistema de equações representado pela relação (3.2), e mais a equação de restrição orçamentária, pode-se

encontrar a quantidade de cada bem, e também a quantidade de vezes que cada modo de viagem é usado num dado período de tempo, os quais conduzem ao máximo de bem estar para a sua renda.

Com relação à parte da relação (3.2) que trata do transporte, podemos dizer que para um dado preço, o usuário requer transporte cuja qualidade faça jus a ele. Na prática, é possível que existam modos cujos custos de uso sejam superiores à satisfação que o uso dos respectivos modos proporcionam. Nesse caso, é provável que o usuário os ache caros demais pelo nível de serviço que eles oferecem, e passe a procurar outra alternativa. Como se vê, a análise do comportamento de um usuário fornece elementos para analisar a escolha do modo ou da rota, e até mesmo para predizer a escolha. No entanto ela não é suficiente para explicar a quantidade de pessoas de uma zona que faz uso de um determinado modo de viagem. Para isso é preciso que se considere também a população, sua condição sócio-econômica, atributos do modo de viagem em questão e dos modos concorrentes, localização de diferentes atividades no espaço, etc.

### 3.4. Estimação de modelos de demanda

Conforme vimos na seção anterior, nós conhecemos algumas características da função demanda de um indivíduo, principalmente aquelas que dizem respeito à utilidade marginal. Porém, esses conhecimentos não são suficientes para se chegar à forma da função de demanda do mercado. A análise de comportamento do usuário nos permite, isto sim, inferir o modo e a rota que provavelmente serão adotados pelo indivíduo em suas viagens. Para podermos estimar o volume de viagens que ocorre entre um par de regiões, por determinados motivo e modo de viagem, precisamos também da demanda total naquele par de origem e destino. No estágio atual do desenvolvimento da análise de demanda, apenas temos uma leve idéia sobre a maneira como as variáveis interferem na quantidade de viagens entre origem  $i$  e destino  $j$ , por motivo  $m$ , modo  $p$  e rota  $r$ . É por isso que os métodos de quantificação da demanda necessariamente passam (pelo menos por enquanto) pela especificação "a priori" ou "ad hoc" de uma função matemática que via de regra é denominada modelo de demanda.

Antes de continuar, vamos explicar o porquê de se fazer um modelo de demanda. "Para que modelar a demanda? Não é mais fácil contar o volume de tráfego nas ruas ou nas estradas?", perguntam com certa freqüência. Se o objetivo é conhecer o atual volume de tráfego numa ligação, a resposta é sim. Porém, se o objetivo é estimar o futuro volume de tráfego, a resposta é não. Neste caso temos dois caminhos a seguir:

- Analisar a variação ocorrida no volume de tráfego daquela ligação, ao longo do tempo, e projetá-la para uma data futura, sempre levando em consideração a tendência no passado;
- Analisar os fatores que possivelmente influem no volume de tráfego de uma ligação, estudar a forma como essa influência se dá, projetar aqueles fatores para uma data futura, e finalmente estimar o provável volume de tráfego futuro.

A principal diferença entre estes dois caminhos é que o segundo permite que o modelo resultante seja aplicado, com certas ressalvas, para estimação do volume de tráfego de uma outra ligação cujas características sejam diferentes daquelas que originaram o modelo.

O uso mais comum dos modelos de demanda está ligado à estimativa do nível de uso de componentes do sistema de transporte num determinado cenário. O procedimento normal, conforme já comentamos, é inicialmente definir o cenário que provavelmente estará predominando numa data futura ou o cenário que provavelmente ocorrerá na pós-intervenção no sistema de transporte. Para que um modelo de demanda seja sensível à modificação no cenário, é

importante que ele contenha variáveis representativas do cenário. Dado que é praticamente impossível representar o cenário em toda sua extensão através de variáveis, espera-se que o modelo contenha pelo menos as principais variáveis que influem no nível de uso de componentes de transporte.

De um modo geral, os fatores que influem no nível de utilização de um componente do sistema de transporte são, entre outros: a) atributos sócio-econômicos da área de influência do componente (população, número de empregos, etc.); b) custo de uso do componente; e c) nível de serviço do componente. Todavia, a importância relativa dos fatores varia de caso para caso e, assim, a determinação de quais fatores são os mais importantes para uma dada situação constitui-se numa das tarefas mais importantes para um analista ou planejador de sistemas de transporte. Outra tarefa igualmente importante e nada fácil é conhecer a relação funcional existente entre os fatores que influem na demanda. Além das tarefas acima, é preciso saber quais das características do fator devem ser medidos e como medir. Por fim, é necessário que se encontre alguma maneira de determinar a importância relativa (coeficientes, expoentes, etc.) de cada variável.

### 3.4.1. Estimação de um modelo de demanda

O objetivo principal desta fase é especificar uma função de demanda que represente o volume de viagens que ocorrem entre um par de origem e destino por um determinado modo de viagem, em função das características, fatores, ou atributos acima enumerados. Geralmente, muitas especificações são levadas em consideração, sem que todas elas sejam usadas. De qualquer forma, elas são submetidas a uma espécie de teste, e então usa-se aquela que indicar o melhor desempenho. As especificações mais comuns são as seguintes.

$$Q_{ijm}^n = \alpha \cdot X_1^\beta \cdot X_2^\gamma \cdot X_3^\delta \cdot X_4^\epsilon \cdots$$

$$Q_{ijm}^n = \alpha + \beta \cdot X_1 + \gamma \cdot X_2 + \delta \cdot X_3 + \epsilon \cdot X_4 + \cdots$$

$$Q_{ijm}^n = \alpha \cdot X_1^\beta \cdot X_2^\gamma \cdots X_n^\eta \cdot e^{\theta_0 + \theta_1 \cdot X_p + \theta_2 \cdot X_q + \cdots}$$

onde  $Q_{ijm}^n$  - é o volume de usuários que vão de i a j, por motivo n, usando o modo m;

$X_i$  - são as variáveis do modelo; e

As letras gregas são os parâmetros do modelo que determinam o peso relativo da variável para explicar a demanda.

Calibrar um modelo significa estimar os parâmetros do modelo de maneira que ele possa reproduzir, ao menos no âmbito dos dados utilizados na calibração, os valores da variável dependente, quando se substitui no modelo as variáveis independentes correspondentes. A técnica mais utilizada na calibração é a de regressão linear múltipla, mas muitos "pacotes" estatísticos trazem também as técnicas de regressão não-linear que, pouco a pouco, está se disseminando entre os planejadores de transporte. As técnicas consistem, basicamente, em minimizar a somatória dos quadrados das diferenças entre os valores, observados e fornecidos pelo modelo, da variável dependente.

Os dados a serem utilizados na calibração podem ser uma série temporal ou uma série espacial. A primeira série refere-se aos dados coletados sobre um determinado objeto, em diferentes datas. A série espacial refere-se a dados sobre objetos semelhantes coletados em diferentes regiões ou zonas. Vamos exemplificar. Digamos que estejamos interessados em



calibrar um modelo que represente o volume de viagens de automóvel de São Carlos para Araraquara. Nós dispomos de várias contagens feitas na Washington Luiz na década de 70 e 80. Dispomos também dos dados que mostram a evolução sócio-econômica das duas cidades, bem como das condições de viagem por meio de cada um dos modos de viagem. Então, podemos usar a série temporal. Caso não dispuséssemos dessa série histórica, mas se dispuséssemos de dados atuais relativos a viagens entre São Carlos e Araraquara, e também os dados relativos a viagens entre São Carlos e Piracicaba, São Carlos e Baurú, Araraquara e Baurú, etc., então poderíamos usar esses dados para a calibração do modelo.

*Cuidado:* quando usamos a série temporal ou a série espacial, estamos implicitamente admitindo a homogeneidade dos dados no tempo ou no espaço, respectivamente. O problema maior geralmente aparece na série espacial, uma vez que sempre existem diferenças significativas entre cidades ou áreas distintas. Assim, no exemplo acima, é importante que escolhamos os pares de cidades com características semelhantes.

A calibração dos modelos com especificações acima é extremamente simples, principalmente quando se utiliza "pacotes" estatísticos que contenham análise de regressão. Alguns recursos disponíveis nesses pacotes, tais como a regressão passo a passo, permitem a interação com a calibração, principalmente no sentido de eliminar ou preservar variáveis no modelo e, a cada passo observar a significância estatística das variáveis. Detalhes sobre a regressão múltipla podem ser encontradas no Anexo 1.

Devemos também tomar cuidado ao especificar as variáveis a serem incluídas no modelo. Necessariamente devemos evitar a inclusão de duas variáveis fortemente correlacionadas. Um exemplo é a população e o número de trabalhadores. Se incluirmos uma delas, não devemos incluir a outra. Geralmente os mesmos "pacotes" estatísticos dispõem de recurso para se fazer esse tipo de análise.

Como dissemos acima, por via de regra um modelo é adotado ou rejeitado por meio de testes estatísticos. No entanto, os testes simplesmente indicam se um modelo deve ou não ser rejeitado a um dado nível de significância. No nosso caso, o nível de significância é a probabilidade de rejeitar um modelo ou uma variável que explica bem a demanda real. Fixamos então o nível de significância em, digamos, 5%, e testamos o modelo ou as variáveis em relação aos dados coletados na área. O fato de não ser rejeitado no teste não significa que o modelo seja bom, ou que uma variável é importante. Simplesmente, as evidências não foram suficientes para a rejeição da variável ou do modelo. A filosofia embutida nesses testes é a seguinte: aceitar o modelo (ou uma variável) enquanto não houver evidências de que ele não serve. A menos que se disponha de algo melhor.

### 3.4.2. Projeção da demanda com modelos matemáticos

A aquisição de conhecimento sobre a demanda por viagens e comportamento humano foram os maiores benefícios proporcionados pelo uso dos modelos de demanda. No entanto, a projeção do futuro volume de tráfego é o propósito mais comum, para se formular e estimar modelos de demanda. A projeção de demanda pode ser realizada com o intuito de investigar novas estratégias gerenciais tais como mudanças no preço, ou de planejar grandes investimentos que requerem previsões de longo prazo.

Com um modelo de demanda em mãos, o futuro volume pode ser estimado da seguinte forma:

- a) Definição de possíveis cenários futuros - é desejável que além do cenário mais provável sejam definidos pelo menos mais dois cenários: pessimista e otimista;

- b) Caracterização dos cenários futuros em termos de variáveis incluídas no modelo - consiste em atribuir às variáveis os valores que correspondam àqueles cenários;
- c) Cálculo do volume futuro substituindo os futuros valores das variáveis no modelo - os valores correspondentes a cenários otimista e pessimista fornecem os limites de variação inferior e superior.

### 3.5. Curva de demanda de mercado

Nos livros didáticos de microeconomia a curva de demanda é apresentada como sendo a relação entre o preço unitário de um bem e a quantidade do bem que um indivíduo ou um conjunto de indivíduos está disposto a adquirir num determinado período de tempo. A curva de demanda é importante pelas seguintes razões: ela é bastante elucidativa, mostrando claramente os aspectos do comportamento humano que todos percebem intuitivamente no dia a dia; além disso, através dela é possível mostrar alguns aspectos que dificilmente seriam compreendidos por meio de fórmulas matemáticas, como por exemplo o excedente do usuário, benefício ao usuário proporcionado pela redução no custo operacional, a receita do operador, etc., mostrados na Figura 3.1. Mas é preciso salientar que, na área de transportes, uma curva de demanda nos moldes da microeconomia, relacionando preço com a quantidade demandada, só é aplicável à análise financeira do operador de transporte. A análise econômica de um investimento de transporte, bem como o equilíbrio entre a demanda e a oferta na infra-estrutura de transporte, necessariamente precisam da relação entre o custo generalizado e a quantidade demandada. Esse assunto será tratado em detalhe nos Capítulos 6 e 9.

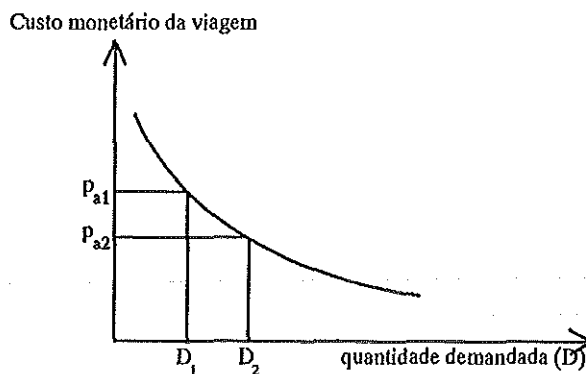


Figura 3.1: Curva de demanda - custo monetário X quantidade demandada

Apesar de muito útil, a curva de demanda não tem a versatilidade de um modelo matemático que permite mostrar a influência de dezenas de variáveis, isoladamente ou em conjunto, sobre o volume de tráfego. É também interessante fazer uso combinado da curva com o modelo matemático. O efeito da redução no tempo de viagem, por exemplo, pode ser melhor compreendido e também melhor quantificado através dessa combinação.

Para exemplificar, inicialmente vamos supor que a função de demanda  $D$ , que representa a demanda diária de viagens de São Carlos para Araraquara, por motivo trabalho, e de automóvel, seja do tipo multiplicativo, e que cada fator seja uma potência da variável, como mostra a Equação (3.4)

$$D_{\text{auto}} = k \cdot H_{\text{SC}}^{\alpha} \cdot E_{\text{AR}}^{\beta} \cdot R_{\text{SC}}^{\gamma} \cdot P_a^{\delta_a} \cdot P_b^{\delta_b} \cdot P_t^{\delta_t} \cdot T_a^{\epsilon_a} \cdot T_b^{\epsilon_b} \cdot T_t^{\epsilon_t} \cdot C_a^{\phi_a} \cdot C_b^{\phi_b} \cdot C_t^{\phi_t} \quad (3.4)$$

onde:  $H_{\text{SC}}$  - População de São Carlos;  
 $E_{\text{AR}}$  - Número de empregos em Araraquara;  
 $R_{\text{SC}}$  - Renda média (ou renda percapita) de São Carlos  
 $P_a, P_b, P_t$  - Custo monetário da viagem em automóvel, ônibus e trem, respectivamente;  
 $T_a, T_b, T_t$  - Tempo de viagem em automóvel, ônibus e trem;  
 $C_a, C_b, C_t$  - Conforto em automóvel, ônibus e trem;

As letras gregas na equação são expoentes, e os índices dos expoentes indicam os modos de viagem. Em seguida, vamos supor que o modelo acima foi ajustado aos dados observados e obtivemos a Equação (3.5)

$$D_{\text{auto}} = 8,18 \cdot 10^{-9} \cdot H_{\text{SC}}^{0,8} \cdot E_{\text{AR}}^{1,0} \cdot R_{\text{SC}}^{1,5} \cdot P_a^{-0,9} \cdot P_b^{0,5} \cdot P_t^{0,05} \cdot T_a^{-0,7} \cdot T_b^{0,2} \cdot T_t^{0,03} \cdot C_a^{0,9} \cdot C_b^{-0,1} \cdot C_t^{-0,01} \quad (3.5)$$

Agora, consideremos todas as variáveis fixas, exceto  $P_a$ , a Equação (3.5) fica reduzida a:

$$D_{\text{auto}} = k_1 \cdot P_a^{-0,9}$$

onde

$k_1$  é uma constante; e

$P_a$  é o custo monetário de se viajar de automóvel.

Esta curva de demanda representa a relação entre o custo monetário da viagem e o volume de usuários, e tem a forma mostrada na Figura 3.1. Todavia, não devemos perder de vista que o valor de  $k_1$  sintetiza o conjunto de condições às quais os são-carlenses, que viajam para Araraquara de automóvel, estão sujeitos.

Na Equação (3.5) podemos notar que se a população de São Carlos ou o número de empregos em Araraquara aumenta, a curva de demanda se desloca para cima, isto é, a demanda aumenta. Mesmo a curto prazo, período em que não se verifica incremento significativo na população ou no número de empregos, a demanda por viagem de automóvel de São Carlos para Araraquara pode aumentar motivado, entre outros, pela redução no tempo de viagem de automóvel, ou pelo aumento no tempo de viagem de ônibus. Nessas condições, verificamos um aumento na quantidade demandada apesar do custo continuar o mesmo. A Figura 3.2 mostra essa variação.

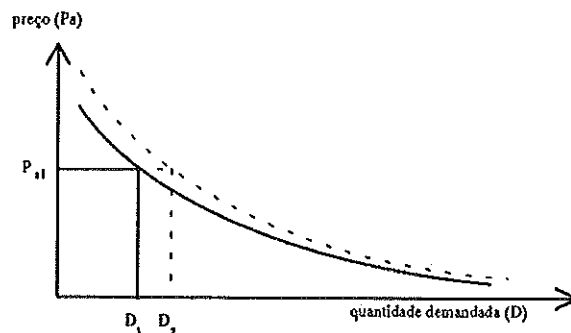


Figura 3.2: Deslocamento da curva de demanda

### 3.6. Elasticidade da demanda

A elasticidade da demanda em relação a uma variável é definida como sendo a razão entre a variação relativa da demanda e a variação relativa da variável. Matematicamente, ela pode ser expressa como mostra a Equação (3.6). A elasticidade pode ser interpretada como sendo a variação percentual que ocorre na quantidade demandada quando o valor de um dado atributo varia de 1 %. Também é possível interpretá-la como sendo a razão entre a derivada da função demanda num ponto e a demanda média no mesmo ponto.

$$\eta = \frac{\partial D}{\partial X} \cdot \frac{X}{D} \quad (3.6)$$

Quando o valor da elasticidade da demanda em relação a uma variável é nulo, significa que essa variável não tem influência nenhuma sobre a demanda, e a demanda é dita inelástica em relação àquela variável. Quando o módulo da elasticidade assume valor maior do que zero e menor do que a unidade, diz-se que a demanda é relativamente inelástica. E, quando a elasticidade é maior do que a unidade, diz-se que a demanda é relativamente elástica em relação à variável.

Assim, se:

- $\eta = 0 \quad \Rightarrow$  demanda inelástica;
- $0 < \eta < 1 \quad \Rightarrow$  demanda relativamente inelástica;
- $\eta > 1 \quad \Rightarrow$  demanda relativamente elástica;
- $\eta \rightarrow \infty \quad \Rightarrow$  demanda elástica;

A elasticidade é particularmente importante para os planejadores e operadores do sistema de transporte na medida em que ela responde a algumas questões básicas. Por exemplo, na maior parte de nossa ferrovia predomina a situação onde se cobra pouco do usuário, mas em compensação não se oferece um bom nível de serviço. Vamos supor que queiramos fazer uma análise preliminar das conseqüências sobre as finanças das companhias operadoras, de uma das políticas alternativas, que é a de oferecer um nível de serviço mais elevado e cobrar uma tarifa maior. A análise poderia começar pela determinação da relação entre o nível de serviço e o custo. Conforme discutiremos no Capítulo 5, o nível de serviço é determinado pelo conjunto de atributos, tais como velocidade, conforto, pontualidade, etc. A elasticidade permite estimar a variação na quantidade demandada provocada pela variação de cada um destes atributos. Assim, podemos estimar os incrementos na quantidade demanda devidos à redução no tempo de viagem, ao aumento de confiabilidade, etc., e também à redução na quantidade demandada por causa do aumento na tarifa devido ao aumento no custo ao usuário. A soma algébrica de todas as variações dá uma estimativa, em termos de quantidade demandada, do que acontecerá após a implantação da nova política. Um cuidado que se deve tomar nesse procedimento é o de verificar se os atributos considerados são independentes entre si, pois o uso de atributos dependentes conduz à contagem múltipla do mesmo efeito.

#### 3.6.1. Métodos de estimação de elasticidades

Os métodos de estimação de elasticidade podem ser classificados em dois grupos básicos: métodos diretos e métodos indiretos. Os métodos do primeiro tipo consistem na observação das variações, tanto na quantidade demandada quanto nas variáveis, como ocorre na prática. Os

métodos do segundo tipo consistem em obter os valores de elasticidade através da calibração de modelos de demanda.

### 3.6.1.1. Métodos diretos

Na prática, a elasticidade é estimada de várias maneiras, de acordo com a magnitude da variação observada na variável explicativa. Todavia, a idéia básica é medir a variação na quantidade demandada provocada pela variação ocorrida numa das variáveis. Uma ótima ocasião para se estimar, por exemplo, a elasticidade da demanda de viagem por automóveis em relação ao preço do litro de gasolina, é quando ocorre a elevação no preço. É claro que o interessado deve estar informado de quando irá ocorrer a elevação, para que possa programar a contagem do número de automóveis com certa antecedência. A idéia é contar as quantidades demandadas antes e depois da elevação. A diferença entre estas duas contagens é considerada variação ocorrida por causa da elevação no preço da gasolina. Para se medir a elasticidade da demanda por ônibus em relação ao preço da passagem, o interessado poderia solicitar à empresa operadora os volumes diários de passageiros transportados nas semanas anterior e posterior ao do aumento.

Para que a elasticidade calculada reflita fielmente o efeito da variável em questão, é preciso que sejam tomados os seguintes cuidados: a) as contagens devem ser feitas nos dias típicos (por exemplo, terça, quarta ou quinta feira) e nas semanas típicas, em que não haja feriado, pois é sabido que um feriado influi não só na demanda por transporte do dia mas também dos dias que antecede e segue o feriado; b) a elasticidade não deve ser calculada com base nos dados coletados muito antes ou muito depois da modificação na variável em questão, pois quanto maior o período maior é a possibilidade de ocorrerem variações em outras variáveis; c) deve certificar-se de que no período de coleta de dados somente haverá aquela modificação. Principalmente no Brasil de hoje esses cuidados são importantes. Vamos supor que uma dada empresa de ônibus reajuste a tarifa uma vez por mes, e que a taxa de inflação mensal seja de 30%. Entre o dia que antecede o reajuste e o dia seguinte observa-se uma variação de quase 30%, mas entre 25 dias antes e o dia seguinte ao reajuste a diferença é da ordem de 6%.

A seguir, vejamos os métodos utilizados para a estimação de elasticidade.

#### a) Elasticidade no arco

O método consiste em subdividir o intervalo de variação, tanto da quantidade demandada (entre  $D_1$  e  $D_2$ ) como da variável (entre  $X_1$  e  $X_2$ ) em intervalos infinitesimais, e depois integrar as variações relativas.

$$\eta_x^{\text{arc}} = \left[ \int_{D_1}^{D_2} \frac{dD}{D} \right] / \left[ \int_{X_1}^{X_2} \frac{dX}{X} \right] = \frac{\text{Ln}(D_2 / D_1)}{\text{Ln}(X_2 / X_1)} \quad (3.7)$$

#### b) Elasticidade linear

Neste método, a variação não é calculada ao longo da curva de demanda, e sim numa secante que passa pelos pontos extremos da variação. O ponto de referência é a média aritmética entre os valores anteriores e posteriores à variação.

$$\eta_x^{\text{lin}} = \frac{D_2 - D_1}{\frac{1}{2}(D_1 + D_2)} / \frac{X_2 - X_1}{\frac{1}{2}(X_1 + X_2)} = \frac{(D_2 - D_1)(X_1 + X_2)}{(D_1 + D_2)(X_2 - X_1)} \quad (3.8)$$

### c) Elasticidade linear em relação a ponto inicial

Não é um método recomendável quando a variação for grande, uma vez que a variação relativa é calculada para o ponto inicial, e não para o ponto médio como no método anterior, e isso distorce um pouco o valor da elasticidade quando a variação observada for relativamente grande. Porém, quando se trata de estimar a variação na demanda causada pela pequena variação no valor do atributo, este método é o mais utilizado, mesmo porque não se conhece o valor final.

$$\eta_x^{\text{ini}} = \frac{D_2 - D_1}{D_1} / \frac{x_2 - x_1}{x_1} = \frac{(D_2 - D_1)x_1}{(x_2 - x_1)D_1} \quad (3.9)$$

A seguir vamos apresentar uma aplicação do conceito de elasticidade na área de planejamento do transporte coletivo (esta aplicação foi extraída de TRRL, 1980). Vamos supor que uma viagem numa dada área urbana envolve 8 minutos de tempo de espera, 10 minutos de caminhada e 12 minutos dentro do ônibus. Está em curso o planejamento do aumento do nível de serviço na rede. Sob determinada restrição orçamentária, estão em análise três estratégias possíveis:

- 1) Um aumento na frequência visando a redução do tempo médio de espera de 8 para 5 minutos;
- 2) Rearranjo das linhas de ônibus de forma a reduzir o tempo médio de caminhada de 10 para 6 minutos;
- 3) Estender a faixa exclusiva para ônibus visando reduzir o tempo de viagem no veículo de 12 a 10 minutos.

As elasticidades no arco estimadas da demanda em relação a essas variáveis são:

$$\eta_{\text{esp}}^{\text{arc}} = -0.5; \quad \eta_{\text{camm}}^{\text{arc}} = -0.6; \quad \eta_{\text{veic}}^{\text{arc}} = -0.4$$

As variações percentuais no volume de usuários devidas às três estratégias são:

- 1)  $100[(5/8)^{-0.5} - 1] = 26\%$
- 2)  $100[(6/10)^{-0.6} - 1] = 36\%$
- 3)  $100[(10/12)^{-0.4} - 1] = 8\%$

Se o objetivo é maximizar o volume de usuários do transporte coletivo, a estratégia (b) é a mais adequada.

#### 3.6.1.2) Métodos Indiretos

Nestes métodos, as informações sobre as elasticidades são obtidas dos modelo de demanda que foram calibrados para condições semelhantes às da situação em estudo.

A principal desvantagem destes métodos em relação aos métodos diretos é que as elasticidades dependem da especificação do modelo de demanda. Conforme discutimos na seção 3.4, os testes estatísticos que nos guiam na escolha de uma especificação não garantem que o modelo represente bem a realidade. E, se tivermos aceito um modelo pouco representativo, as elasticidades obtidas por seu intermédio tampouco refletirão a realidade.

A principal vantagem destes métodos é que um modelo de demanda e as elasticidades podem ser obtidos a partir de uma série de dados, temporal ou espacial, contendo as

quantidades demandadas e as características sócio-econômicas e de oferta de transporte da área ou da ligação em estudo.

Exemplo. Vamos supor que a função de demanda encontrada para um dado par de origem e destino seja uma equação linear do tipo

$$Q_{ijm}^n = a.P_i + b.E_j - c.C_{ijm} - d.T_{ijm}$$

onde:  $Q_{ijm}^n$  - é a demanda de viagens entre i e j, por motivo n, usando o modo m;

$P_i$  - a população da zona i

$E_j$  - uma variável de atratividade que depende do motivo (número de empregos, para motivo trabalho; número de vagas para estudos; número de estabelecimentos comerciais ou a sua área, para compras, etc.).

$C_{ijm}$  - custo do desembolso com transporte (preço de passagem em ônibus; custo do combustível para automóveis - atenção!!! aqui estamos falando do custo que o usuário percebe, e não do custo operacional, pois a demanda depende daquilo que o indivíduo percebe) entre i e j pelo modo m;

$T_{ijm}$  - tempo total de viagem entre i e j, pelo modo m;

a, b, c, d - parâmetros constantes e positivos, que definem o modelo de demanda.

Segundo a definição de elasticidade, dada pela Equação (3.6), devemos inicialmente encontrar a derivada parcial da demanda em relação ao custo, e depois multiplicá-la pela razão entre o custo e a quantidade demanda.

$$\frac{\partial Q_{ijm}^n}{\partial C_{ijm}} = -c, \text{ e portanto}$$

$$\eta_{c_{ijm}} = -c \cdot C_{ijm} / (a.P_i + b.E_j - c.C_{ijm} - d.T_{ijm})$$

Observe-se que, quando a função de demanda é linear, a sua elasticidade em relação ao custo varia de zero quando  $C_{ijm}$  é zero, e infinito no ponto onde o  $C_{ijm}$  anula o denominador da equação de elasticidade. O leitor poderá chegar à conclusão semelhante em relação ao tempo de viagem. Seria também interessante que o leitor obtivesse a expressão para a elasticidade da demanda tanto em relação à população de i como em relação à atratividade de j e discutisse os resultados.

Quando se usa uma função de demanda do tipo representada pela Equação (3.5), a elasticidade da demanda em relação a uma variável é o próprio expoente da variável. Vamos deixar a verificação desta afirmação por conta do leitor.

Portanto, no caso da função de demanda representada pela Equação (3.5) a elasticidade da demanda em relação à população de São Carlos é 0.8, o que quer dizer que a cada aumento de 1% na população, a quantidade demandada aumenta de 0.8 %. A elasticidade da demanda por automóvel em relação ao custo de uso de automóvel (-0.9, na Equação 3.5), por exemplo, é denominada elasticidade direta, pois refere-se a um atributo do próprio modo de viagem. Por outro lado, a elasticidade da demanda por automóvel em relação à tarifa de trem (0.05, na equação) é chamada elasticidade cruzada, pois refere-se à influência de um atributo de outro

modo de viagem sobre o uso do automóvel. O sinal desta elasticidade é positivo porque o aumento na tarifa do trem afugenta uma parte dos usuário de trem e alguns destes passam a fazer parte dos que usam automóveis na viagem de São Carlos para Araraquara.

### 3.6.2. Elasticidade da demanda em relação ao preço: uma medida de rentabilidade

Uma outra utilidade da elasticidade, especificamente em relação ao preço, está na informação que ela fornece com relação a aumento ou diminuição da receita e, por conseguinte, do lucro do operador de transporte. Voltemos à definição da elasticidade, matematicamente descrita pela Equação (3.6). O denominador é a pequena variação no preço multiplicado pela quantidade de usuário, e o numerador é o produto da variação na demanda causada pela variação no preço e o preço. O numerador pode ser interpretado como sendo o incremento na receita devido ao aumento na quantidade demandada, e o denominador como sendo a perda na receita devido à redução no preço. Assim a razão entre estas duas grandezas indica se convém ou não diminuir o preço. Estamos considerando que o custo permanece inalterado. Uma elasticidade menor do que 1 significa que o aumento de 1 % no preço provoca uma redução menor do que 1 % na receita, aumentando, conseqüentemente, o lucro da empresa. Uma elasticidade unitária significa que a variação no preço não afeta a receita da empresa. E, finalmente, a elasticidade maior do que 1 significa que o aumento de 1 % no preço provoca uma redução maior do que 1 % na receita, e, portanto, a diminuição do lucro da empresa.

### 3.7. Acurácia nas previsões

Nas seções anteriores foram descritas muitas das dificuldades associadas à previsão acurada do futuro volume de usuários de um componente do sistema de transporte. Alguns desses problemas estão relacionados aos erros conceituais e erros ao aplicar os princípios de modelagem de demanda. Outros erros são cometidos sem incorrer a erros de aplicação ou erros conceituais. A seguir, apresentaremos a síntese dos tipos de erros mais comuns acompanhado de comentários e discussões a respeito.

- *Não considerar a elasticidade da demanda com relação a preço.* Por uma questão de simplicidade, muitos estudos de planejamento supõem que volumes de viagens são constantes. Embora conveniente, esta suposição é geralmente incorreta e injustificável.
- *Cálculo errôneo da elasticidade.* A elasticidade da demanda em relação a uma variável deve refletir tão somente a propensão de um indivíduo, um conjunto de indivíduos, uma empresa, ou um conjunto de empresas em aumentar ou diminuir a quantidade de viagem ou carga transportada quando ocorre alguma variação na magnitude da variável. O aconselhável é que se meça as variações ocorridas num espaço de tempo relativamente curto, pois caso contrário aumenta a possibilidade de que outras causas concorram para mudar a quantidade demandada.
- *Uso de dados impróprios.* Dados usados para a calibração dos parâmetros de um modelo de demanda devem ser homogêneos.
- *Extrapolação de condições existentes.* Um modelo de demanda é útil na medida em que ele fornece previsões para situações que não sejam similares às existentes. Infelizmente, nessas condições os resultados são pouco confiáveis. Os resultados tendem a ser mais precisos quanto mais similar for o cenário em relação àquele cujos dados foram utilizados para se calibrar o modelo.



- *Erros de medição.* A calibração ou a estimação dos parâmetros dos modelos de demanda é feita com base nos dados sócio-econômicos da população, de volumes de tráfego, de custo aos usuários, etc., que de uma maneira ou outra são medidos. Assim, o erro de medição conduz à estimação incorreta dos parâmetros, que por sua vez distorce a previsão.
- *Incerteza dos parâmetros estimados.* Virtualmente todos os modelos de demanda contêm parâmetros que devem ser calibrados. As técnicas disponíveis para estimação desses parâmetros são de natureza estatística, de modo que os valores resultantes são incertos. Embora os testes estatísticos forneçam medidas de significância de cada parâmetro calibrado, ele não garante um bom resultado.
- *Incerteza nos valores futuros das variáveis sócio-econômicas.* Conforme foi comentado anteriormente, para se prever um futuro volume de tráfego, é necessário prever a magnitude dos fatores que influem na demanda por transporte. Existem evidências de que uma das fontes de erros na previsão está na imprecisão de projeção das variáveis.
- *Erros sistemáticos.* Não há como negar que existem inter-relações entre o volume de usuários em diferentes componentes e em diferentes horas do dia. Existem também interações entre o custo ao usuário, a renda, e a posse de automóvel. É muito difícil, senão impossível, representar todas essas inter-relações por intermédio de uma única função.

Como resultado dessas dificuldades, a previsão de volume de viagens está sempre sujeita a incertezas. Porém, cabe salientar que: a) a previsão de médio prazo provavelmente é mais precisa do que para futuro distante; felizmente, o horizonte de planejamento para muitas das políticas de tarifação e investimentos está aquém dos 5 anos. Apenas uma parcela de projetos como a construção de estradas, aeroportos ou metrô, é que requerem previsões de longo prazo. b) o modelo de demanda permite que pelo menos se tenha idéia da faixa de variação do volume de viagens. Essa faixa pode ser obtida levando-se em conta diferentes cenários em termos de mudanças sócio-econômicas e as incertezas devidas a erros na especificação do modelo de demanda e na estimação dos parâmetros.

### 3.8. Modelos Seqüenciais

Os modelos até aqui tratados são chamados modelos diretos ou simultâneos, com os quais procura-se representar a demanda por um dado modo e motivo de viagem, entre um determinado par de origem e destino. Porém, à medida que aumenta o número de zonas de origem e destino, número de motivos e o número de modos de viagem, o uso de modelos diretos vai se tornando cada vez mais trabalhoso. Imagine se tivéssemos que determinar um modelo de demanda para cada par de origem e destino para uma área urbana como a Região Metropolitana de São Paulo que em 1966, ocasião em que se fazia o planejamento do Metrô, foi subdividida em 206 zonas de tráfego. O número de pares de origem e destino nessas 206 zonas é o seu arranjo dois a dois, que dá 42.436 pares, ou seja é o número de elementos existentes numa matriz de 206 x 206. Um fator complicador é o fato de que um incremento no tempo ou no custo de viagem que passe a ocorrer de forma sistemática pode induzir as pessoas a se mudarem de emprego ou de residência. Assim, um modelo direto aplicado num par de zonas de uma mesma área urbana precisa incorporar não só as variáveis tempo, custo e de atratividade da zona de destino em questão, mas de todas as outras zonas. Sem dúvida, isso inviabiliza o tratamento por meio de modelos diretos.

Modelos seqüenciais visam simplificar o problema dividindo-o em partes menores, como manda um dos preceitos de René Descartes. A divisão do problema é feita mais ou menos de acordo com a seqüência de decisão que, acredita-se, uma pessoa toma antes de viajar de  $i$  para  $j$ ,

por motivo  $n$ , usando o modo de viagem  $m$ . Supõe-se que antes de mais nada uma pessoa decide exercer uma atividade, digamos o trabalho; em segundo lugar, decide onde trabalhar. Em seguida escolhe o modo de viagem. E, finalmente, ela escolhe a rota que pretende fazer nessas viagens. Vamos deixar claro que ninguém sabe ao certo se a seqüência de decisões é realmente esta. Na verdade, a questão tem suscitado polêmicas e, pior, muitas pessoas questionam a validade do método seqüencial, argumentando, por exemplo, que as pessoas não escolhem o destino sem considerar os modos de viagem disponíveis. Elas têm razão. No entanto, se nós fossemos considerar todos os fatores que interferem na decisão referente a uma viagem, então teríamos de usar os modelos diretos, com todas as dificuldades que comentamos no parágrafo anterior. Então vale lembrar uma vez mais que os modelos seqüenciais foram criados para simplificar, e, assim como em qualquer simplificação alguns aspectos ficam prejudicados.

Neste capítulo serão tratadas as três primeiras etapas. A última etapa, alocação de tráfego às rotas, será estudado no Capítulo 6, Equilíbrio entre demanda e oferta em transportes. É porque essa última etapa envolve também os conceitos que serão vistos no Capítulo 5, Oferta de transportes.

### 3.8.1. Geração e atração de viagens

Nesta primeira etapa, procura-se expressar o número de viagens geradas por um dado motivo, numa zona de tráfego, em função das variáveis capazes de explicá-las. O primeiro passo é determinar as variáveis capazes de explicar o volume de viagens geradas.

Por exemplo, em se tratando de motivo trabalho, o número de viagens geradas numa zona depende do número de pessoas economicamente ativas que habitam a zona. Outro fator que geralmente explica uma parte das viagens geradas é a renda média da zona. A explicação para isso é que numa zona onde a renda média é elevada, a maioria das famílias possui automóveis que dão maior mobilidade e rapidez ao deslocamento de seus usuários, permitindo por exemplo que se almoce em casa. Nesse caso, uma pessoa economicamente ativa estaria gerando duas viagens por dia ao trabalho, ao invés de uma única viagem feita por parte das pessoas que não têm acesso ao automóvel. Porém, desde que o transporte coletivo passe a operar com maior rapidez, maior freqüência, e menor custo, é possível tornar o almoço em casa acessível para maior número de pessoas. Podemos então concluir que o número de viagens geradas depende também do tempo médio das viagens que têm origem naquela zona.

A dificuldade está em considerar o tempo médio e o custo médio das viagens geradas enquanto não se conhece o destino e a divisão modal das viagens. Uma maneira de contornar esse problema é usar o processo iterativo em que inicialmente se adota um tempo médio e um custo médio para se ter o valor inicial do volume de viagens geradas. Após feitas a distribuição das viagens, divisão modal, e alocação do tráfego às rotas, tem-se um novo valor médio para custo e tempo de viagem. Com esses valores efetua-se novamente a geração, distribuição, divisão modal e alocação de viagens às rotas. O processo é repetido até que a diferença entre os valores sucessivos de geração em cada zona seja menor que um valor previamente estipulado.

Quanto à função utilizada para representar o volume de viagens geradas, ela é geralmente linear ou multiplicativa. O modelo pode ser estabelecido a nível individual, familiar, ou agregado por zona.

Vejamos alguns exemplos. Os modelos abaixo apresentados foram obtidos para a Região Metropolitana de São Paulo, em 1968, e estão contidos no "Estudos Sócio-Econômicos, de Tráfego e de Viabilidade Econômico-Financeira", trabalho elaborado pelo consórcio formado pelas empresas consultoras Hochtief, Montrel e Deconsult visando a implantação do Metrô-SP.

## Geração de viagens:

|                     |  |                |
|---------------------|--|----------------|
| domicílio/trabalho: | $P_{dt} = -0.8153 + 0.1772 \log x_3 + 1.0181 \log x_{11} - 0.036 z_1 - 0.1170 z_2 - 0.1824 z_3$      | $(r^2 = 0.98)$ |
| domicílio/educação: | $P_{de} = -10104 + 0.0273 x_3 + 0.0845 x_{11}$   | $(r^2 = 0.82)$ |
| domicílio/outros:   | $\log P_{do} = -0.3599 + 1.0891 \log x_{11} + 0.2363 \log x_{14}$                                    | $(r^2 = 0.90)$ |
| domicílio/total:    | $\log P_{dT} = -0.8153 + 0.1772 \log x_3 + 1.0181 \log x_{11} - 0.036 z_1 - 0.1170 z_2 - 0.1824 z_3$ | $(r^2 = 0.97)$ |
| não domiciliares:   | $P_{nd} = -7.6634 + 0.0214 x_3 + 0.1656 x_{15} + 0.3588 x_{16}$                                      | $(r^2 = 0.98)$ |
| geração externa:    | $G_{ex} = -1.2392 + 0.0115 x_{11} + 31.6837 x_{14} + 0.1568 x_1$                                     | $(r^2 = 0.94)$ |

## Atração de viagens:

|                     |  |                |
|---------------------|--|----------------|
| domicílio/trabalho: | $A_{dt} = -611.9509 + 4.8493 x_4 + 3.2890 x_5$                   | $(r^2 = 0.97)$ |
| domicílio/educação: | $A_{de} = -2.0273 + 1.9463 x_{12} + 17.8197 x_{13}$              | $(r^2 = 0.85)$ |
| domicílio/outros:   | $A_{do} = -16.7448 + 0.0489 x_3 + 0.2801 x_{15} + 0.8432 x_{16}$ | $(r^2 = 0.96)$ |
| domicílio/total:    | $A_{dT} = -229.8264 + 2.0187 x_4 + 4.1380 x_5 + 3.2522 x_7$      | $(r^2 = 0.96)$ |
| não domiciliares:   | $A_{nd} = -8.3578 + 0.0215 x_3 + 0.3032 x_{17}$                  | $(r^2 = 0.92)$ |

Obs.: Tanto a geração (P) como a atração (A) de viagens são referentes a unidade de área (ha)

## Variáveis independentes

## a) básicas

- $x_1$  = área (ha)
- $x_2$  = população (hab)
- $x_3$  = renda média por domicílio
- $x_4$  = mão de obra ocupada na indústria
- $x_5$  = mão de obra ocupada no setor terciário
- $x_7$  = vagas escolares em cursos médios e superiores
- $x_8$  = total de vagas escolares
- $x_9$  = número de automóveis

## b) derivadas

- $x_{11}$  = densidade demográfica bruta  $\{ = x_2/x_1$
- $x_{12} = x_7/x_1$
- $x_{13} = x_8/x_2$
- $x_{14}$  = automóveis por habitante  $\{ = x_9/x_2$
- $x_{15}$  = densidade de mão de obra industrial  $\{ = x_4/x_1$
- $x_{16}$  = densidade de mão de obra terciária  $\{ = x_5/x_1$
- $x_{17}$  = densidade de mão de obra total  $\{ = (x_4+x_5)/x_1$

## c) variáveis auxiliares

- $z_1$  = válido para os municípios de Sto André, S. Bernardo do Campo, São Caetano do Sul e Mauá
- $z_2$  = idem, Osasco e Guarulhos
- $z_3$  = idem, Poá, Suzano, Brás Cubas e Mogi das Cruzes.

## 3.8.2. Distribuição de viagens

A segunda etapa do modelo seqüencial denomina-se distribuição de viagens. Como o próprio nome indica, as viagens geradas são distribuídas nesta etapa. Na verdade, o que geralmente se procura aqui é, em primeiro lugar, entender os fatores que influem no volume de viagens que ocorrem para cada destino. Em segundo lugar, se quer saber como as variáveis influem na distribuição. Porém, nem todos os modelos têm poder explicativo. Alguns são baseados no fator de crescimento e sequer dão indicação das causas da distribuição de viagens. Apesar de tudo, são modelos muito utilizados na prática, principalmente pela simplicidade. É certo que o uso desse tipo de modelo não seria recomendável para previsão de longo prazo, mas em se tratando de curto prazo, onde a própria variação na demanda é pequena, os erros

resultantes deste tipo de modelo não são muito diferentes dos erros apresentados pelos modelos mais elaborados. O mais representativo dos modelos que usam o fator de crescimento é o de Fratar, que será apresentado nesta seção. Com relação aos modelos explicativos, apresentaremos dois: o modelo de gravidade e o modelo entrópico, por se tratarem também de modelos mais usados na prática. Existem muitos outros, tais como modelos de oportunidade, modelos de escolha do destino, etc., que, caso o leitor esteja interessado, poderá estudar no livro "Transportation Demand Analysis" de Adib Kanafani (1983). O modelo de escolha do destino, por exemplo, poderá ser facilmente entendido se o leitor, após estudar o modelo logit multinomial na seção seguinte, refletir um pouco sobre a sua aplicação na área de distribuição de viagem.

**3.8.2.1. Modelo de Fratar**

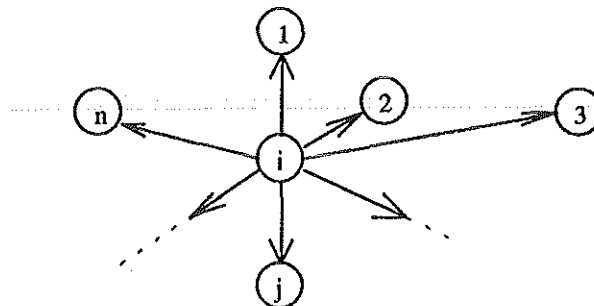
Este é um modelo relativamente antigo (1954) mas ainda muito utilizado. Ele consta dos principais "pacotes" computacionais de planejamento de transportes, como por exemplo o EMME2, desenvolvido no Canadá. A previsão do volume de viagens futuras entre um par de zonas é feita através da multiplicação do volume atual pelo produto dos fatores de crescimento previstos para as duas zonas, com ajustamento para a atratividade relativa das outras zonas. Vejamos a formulação do modelo.

O modelo de Fratar tem a seguinte forma:

$$Q_{ij}^t = Q_{ij}^0 \cdot F_i \cdot F_j \cdot L_1$$

- onde:  $Q_{ij}^t$  número de viagens no ano t de i para j  
 $Q_{ij}^0$  número de viagens atuais de i para j  
 $F_i$  fator de crescimento da zona de origem i  
 $F_j$  fator de crescimento da zona de destino j  
 $L_1$  fator de ajuste das origens

Aplicando o modelo para as viagens que têm origem na zona i da Figura abaixo, temos:



$$Q_{i1}^1 = Q_{i1}^0 \cdot F_i \cdot F_1 \cdot L_1$$

$$Q_{i2}^1 = Q_{i2}^0 \cdot F_i \cdot F_2 \cdot L_1$$

.....

$$Q_{ij}^1 = Q_{ij}^0 \cdot F_i \cdot F_j \cdot L_1$$

.....

$$Q_{in}^1 = Q_{in}^0 \cdot F_i \cdot F_n \cdot L_1$$

Somando-se membro a membro, temos:

$$\sum_{j=1}^n Q_{ij}^1 = \sum_{j=1}^n Q_{ij}^0 \cdot F_i \cdot F_j \cdot L_1 = F_i \cdot L_1 \cdot \sum_{j=1}^n Q_{ij}^0 \cdot F_j \Rightarrow L_1 = \frac{\sum_{j=1}^n Q_{ij}^1}{F_i \cdot \sum_{j=1}^n F_j \cdot Q_{ij}^0}$$

como  $\sum_{j=1}^n Q_{ij}^1 = Q_i^1 = F_i \cdot Q_i^0 \Rightarrow L_1 = \frac{Q_i^0}{\sum_{j=1}^n F_j \cdot Q_{ij}^0}$

Portanto, os passos a serem seguidos para projetar os fluxos de viagens constantes da matriz origem-destino do ano base são:

1. Em função das viagens produzidas e atraídas por cada zona no ano base (t = 0) e das previstas para o ano t (na etapa de geração e atração de viagens), determina-se, para cada zona de origem i, o fator de ajuste  $L_i$ ;
2. Calcula-se o volume de viagens distribuídas a partir da zona i, usando a expressão

$$Q_{ij}^1 = Q_{ij}^0 \cdot F_i \cdot F_j \cdot L_i$$

3. Após calculados os fluxos para todos os pares de origem-destino, fazer a somatória das linhas e colunas e comparar os resultados com os valores previstos para o ano t. Caso haja diferenças maiores do que um valor inicialmente estipulado, para algumas das linhas ou colunas, o processo deverá ser repetido, tomando-se como matriz origem-destino de referência os valores determinados no ítem 2.

Exemplo:

| O\D             | 1    | 2    | 3    | 4    | Total Ano 0 | Total Ano t | Total t/ total 0 |
|-----------------|------|------|------|------|-------------|-------------|------------------|
| 1               | 20   | 30   | 15   | 30   | 95          | 130         | 1,37             |
| 2               | 20   | 50   | 40   | 20   | 130         | 200         | 1,54             |
| 3               | 30   | 60   | 30   | 30   | 150         | 170         | 1,13             |
| 4               | 10   | 15   | 30   | 20   | 75          | 120         | 1,60             |
| Total Ano 0     | 80   | 155  | 115  | 100  | 450         | 620         |                  |
| Total Ano t     | 110  | 200  | 150  | 160  |             |             |                  |
| Total t/Total 0 | 1,38 | 1,29 | 1,30 | 1,60 |             |             |                  |

$$L_1 = 95 / (20 \times 1,38 + 30 \times 1,29 + 15 \times 1,30 + 30 \times 1,6) = 0,710$$

$$L_2 = 130 / (20 \times 1,38 + 50 \times 1,29 + 40 \times 1,30 + 20 \times 1,6) = 0,738$$

$$L_3 = 150 / (30 \times 1,38 + 60 \times 1,29 + 30 \times 1,30 + 30 \times 1,6) = 0,740$$

$$L_4 = 75 / (10 \times 1,38 + 15 \times 1,29 + 30 \times 1,30 + 20 \times 1,6) = 0,720$$

$$Q_{11} = 20 \times 1,37 \times 1,38 \times 0,710 = 26,72$$

$$Q_{12} = 30 \times 1,37 \times 1,29 \times 0,710 = 37,62$$

$$Q_{13} = 15 \times 1,37 \times 1,30 \times 0,710 = 19,01$$

$$Q_{14} = 30 \times 1,37 \times 1,60 \times 0,710 = 46,65$$

$$Q_{21} = 20 \times 1,54 \times 1,38 \times 0,738 = 31,22$$

$$Q_{22} = 50 \times 1,54 \times 1,29 \times 0,738 = 73,23$$

$$Q_{23} = 40 \times 1,54 \times 1,30 \times 0,738 = 59,22$$

$$Q_{24} = 20 \times 1,54 \times 1,60 \times 0,738 = 36,32$$

$$Q_{31} = 30 \times 1,13 \times 1,38 \times 0,740 = 34,07$$

$$Q_{32} = 60 \times 1,13 \times 1,29 \times 0,740 = 63,95$$

$$Q_{33} = 30 \times 1,13 \times 1,30 \times 0,740 = 32,32$$

$$Q_{34} = 30 \times 1,13 \times 1,60 \times 0,740 = 39,65$$

$$Q_{41} = 10 \times 1,60 \times 1,38 \times 0,720 = 15,83$$

$$Q_{42} = 15 \times 1,60 \times 1,29 \times 0,720 = 22,28$$

$$Q_{43} = 30 \times 1,60 \times 1,30 \times 0,720 = 45,05$$

$$Q_{44} = 20 \times 1,60 \times 1,60 \times 0,720 = 36,84$$

A tabela acima contém uma matriz origem-destino entre zonas 1, 2, 3 e 4. A tabela mostra também os volumes de tráfego no ano 0 e no horizonte de análise, ano t. Suponha que os volumes de tráfego produzidos e atraídos no ano t tenham sido previstos na primeira etapa. Aplicando o modelo de Fratar encontra-se uma nova matriz origem-destino, apresentada na tabela abaixo. Note que com apenas uma iteração houve uma razoável convergência.

| O/D             | 1      | 2      | 3      | 4      | Total Ano 1 | Total Ano t | Total t/ total 1 |
|-----------------|--------|--------|--------|--------|-------------|-------------|------------------|
| 1               | 26,72  | 37,62  | 19,01  | 46,65  | 130,00      | 130         | 1,0              |
| 2               | 31,22  | 73,23  | 59,22  | 36,32  | 200,00      | 200         | 1,0              |
| 3               | 34,07  | 63,95  | 32,32  | 39,65  | 170,00      | 170         | 1,0              |
| 4               | 15,83  | 22,28  | 45,05  | 36,84  | 120,00      | 120         | 1,0              |
| Total Ano 1     | 107,84 | 197,09 | 155,61 | 159,46 | 620,00      | 620         |                  |
| Total t         | 110,00 | 200,00 | 150,00 | 160,00 |             |             |                  |
| Total t/total 1 | 1,02   | 1,01   | 0,96   | 1,00   |             |             |                  |

A primeira iteração foi feita variando a coluna (j). É interessante que na segunda iteração varie a linha, pois o processo convergirá mais rapidamente. Para isso basta trocar os índices das fórmulas acima.

$$L_j = \frac{Q_j^0}{\sum_{i=1}^n F_i \cdot Q_{ij}^0}$$

$$Q_{ij}^1 = Q_{ij}^0 \cdot F_i \cdot F_j \cdot L_j$$

### 3.8.2.2. Propriedades básicas de modelos de distribuição de viagens

Para que um modelo de distribuição de viagem seja internamente consistente, eles devem ter as seguintes propriedades:

- **Conservação.** Num sistema de n regiões, n cidades ou n zonas de tráfego, as seguintes condições devem ser satisfeitas: (1) O total das viagens distribuídas a partir de uma origem i, deve ser igual ao número de viagens nela geradas ( $O_i$ ); (2) o total das viagens que se dirigem a um destino j deve ser igual ao número de viagens atraídas pelo destino j ( $D_j$ ); e (3) a somatória das viagens produzidas nas n origens é igual à somatória das viagens atraídas pelas n zonas.

$$1) O_i = \sum_j^n V_{ij};$$

$$2) D_j = \sum_i^n V_{ij}$$

$$3) \sum_i^n O_i = \sum_j^n D_j$$

- *Não negatividade.* Esta regra estabelece que o número de viagens ocorridas entre quaisquer pares de origem e destino não deve ser negativo;
- *Divisibilidade e compressibilidade.* A divisibilidade estabelece que se uma zona de origem  $i$  for dividida em duas,  $i'$  e  $i''$ , a seguinte igualdade deve ser observada:

$$V_{i'j} + V_{i''j} = V_{ij}$$

A compressibilidade estabelece que se duas zonas,  $i'$  e  $i''$  forem agrupadas numa só, a seguinte igualdade deve ser observada:

$$V_{ij'} + V_{ij''} = V_{ij}$$

Dada a característica não-linear dos modelos geralmente utilizados na distribuição de viagem, a última propriedade fica levemente prejudicada. O importante, no entanto, é que a divergência não seja significativa.

### 3.8.2.3. Modelos de gravidade

A idéia mais antiga de que temos notícia sobre um modelo de distribuição vem do século passado. Em 1885, estudando o fluxo de migrantes entre Europa e EUA, Ravenstein observou que o número de pessoas que se movimentam entre quaisquer pares de cidades parecia ser proporcional ao tamanho delas e inversamente proporcional à distância entre elas. Em 1891, ao analisar o planejamento de rede de transporte ferroviário alemão, Lille sugeriu algo parecido. Mas foi durante a primeira metade deste século que o modelo gravitacional se desenvolveu até adquirir a forma que o conhecemos hoje. Na década de 50, o modelo passou a ser aplicado na área de transporte urbano, após a constatação de que os métodos dos fatores de crescimento não eram adequados para a previsão de demanda (Kanafani, 1983). No final da década de 60, os modelos de gravidade ganharam novos alentos com o trabalho de Wilson (1967), que deu o conteúdo teórico aos modelos. Todavia, isso não durou muito. Com o aparecimento dos modelos comportamentais em 1973 (ver Domencich e MacFadden, 1975), o modelo gravitacional foi relegado, ao menos em termos de pesquisas, ao segundo plano. Mas foi novamente colocado em evidência depois que Anas (1983) demonstrou que o volume de pessoas que viajam entre pares de zonas pode ser representado por modelo de distribuição do tipo gravidade desde que as pessoas escolham o destino segundo o modelo Logit Multinomial. O modelo Logit Multinomial é o modelo comportamental mais conhecido na atualidade.

A forma básica do modelo gravitacional de distribuição continua sendo a mesma do século passado. Na essência, foram feitas três mudanças: a) as variáveis geralmente incluídas no modelo são tempo, custo, ou uma combinação de tempo e custo, e não mais a distância; b) o expoente do custo ( $\theta$  na Equação (3.9)) não é -2, e sim um valor determinado através da calibração; c) as variáveis de "massa" não são necessariamente variáveis sócio-econômicas, ao contrário, o que se usa com maior frequência são as viagens geradas na zona de origem e viagens atraídas na zona de destino. Além disso, ao contrário do modelo de Newton que possui uma única constante (de gravitação universal), no modelo de demanda costuma-se adotar uma constante de proporcionalidade para cada origem  $i$ .

$$V_{ij} = k_i \cdot A_i \cdot B_j \cdot C_{ij}^{\theta}$$

(3.9)



A calibração do modelo é feita aplicando-se a técnica de regressão linear à expressão linearizada na forma apresentada pela Equação (3.10):

$$\text{Ln}\left(\frac{V_{ij}}{A_i \cdot B_j}\right) = \text{Ln}k_i + \theta \cdot \text{Ln}C_{ij} \quad (3.10)$$

Podemos notar que a calibração exige que conheçamos o número de viagens geradas e atraídas em cada zona de tráfego, e os número de viagens que ocorrem entre as zonas. Na calibração é desejável que tenhamos a matriz origem-destino completa, pois isso nos permitirá a calibração mais acurada. Todavia, a calibração pode ser feita usando-se uma matriz incompleta.

Quando tivermos o custo generalizado ao invés de tempo ou custo monetário, o processo de calibração fica um pouco mais trabalhoso, uma vez que a equação resultante passa a ser não-linearizável, conforme mostra a Equação (3.11).

$$\text{Ln}\left(\frac{V_{ij}}{A_i \cdot B_j}\right) = \text{Ln}k_i + \theta \cdot \text{Ln}(p_{ij} + \phi \cdot t_{ij}) \quad (3.11)$$

Nesse caso, temos que usar a técnica da regressão não-linear.

#### 3.8.2.4. Modelos entrópicos

Estes modelos formam outra série de modelos de distribuição obtida através de analogia com a física dos gases. Para fazermos tal analogia, consideremos inicialmente um sistema de origens e destinos. Consideremos, também, que existam  $V$  pessoas no sistema que efetuam viagens entre essas origens e destinos. Uma determinada distribuição de viagens, dada pela matriz  $T$ , é definida como sendo um estado do sistema.

Exemplo: Vamos supor um sistema com 2 origens e 2 destinos, e 4 viajantes denotados pelas letras a, b, c, d. Este sistema pode ser representado por uma matriz 2x2, com origens A e B, e destinos A e B. Vamos supor o seguinte estado:

|   |   |   |
|---|---|---|
|   | A | B |
| A | 1 | 0 |
| B | 0 | 3 |

Observe no esquema abaixo, de quantas maneiras esse estado pode ser obtido:

|           |           |           |           |
|-----------|-----------|-----------|-----------|
| A B       | A B       | A B       | A B       |
| A a 0     | A b 0     | A c 0     | A d 0     |
| B 0 b,c,d | B 0 a,c,d | B 0 a,b,d | B 0 a,b,c |

O estado pode ser obtido de 4 maneiras.

Matematicamente, esse número pode ser obtido mediante a Equação (3.12)



$$W = \frac{V!}{\prod_{ij} V_{ij}!} \tag{3.12}$$

onde:

W é o número de possibilidades de se obter o estado;

V é o total de viagens observadas no sistema;

$V_{ij}$  é o número de viagens de i para j; e

$\Pi$  é o símbolo indicativo do produtório.

Vamos fazer um parêntese para explicar de onde surgiu a Equação (3.12). Vamos supor que existam V viajantes no sistema;  $V_{11}$  pessoas viajam de 1 para 1; o número de maneiras diferentes de termos essa situação pode ser obtido através da combinação  $C_{V, V_{11}}$ ; dos restantes  $(V - V_{11})$ ,  $V_{12}$  viajam de 1 para 2; a combinação  $C_{(V-V_{11}), V_{12}}$  é o número de maneiras diferentes de conseguirmos essa situação, e assim por diante. O produto  $C_{V, V_{11}} \cdot C_{(V-V_{11}), V_{12}}$  dá o número de maneiras possíveis de obtermos essas duas situações conjuntas. Repetindo a idéia para todos os demais pares de origem e destino, temos:

$$W = \frac{V!}{V_{11}! (V - V_{11})!} \cdot \frac{(V - V_{11})!}{(V - V_{11} - V_{12})! V_{12}!} \dots \frac{V_{nn}!}{V_{nn}! 0!}, \text{ que resulta em Equação (3.12)}$$

Aplicando a Equação (3.12) ao nosso caso, temos:

$$W = \frac{4!}{1!0!0!3!} = 4$$

Os números do denominador correspondem, respectivamente, ao número de viagens de 1 para 1, 1 para 2, 2 para 1 e 2 para 2.

Além de definição do estado e da maneira de calcular o número de combinações possíveis de se obter o estado, foram adotadas as seguintes hipóteses:

- A probabilidade de ocorrer uma determinada distribuição é proporcional ao número de maneiras possíveis de se obter essa distribuição;
- Se um determinado estado persiste, é porque a probabilidade de sua ocorrência é máxima.

Se temos um sistema com V viajantes, e conhecemos as condições que devem ser satisfeitas tais como: número de pessoas que viajam a partir de cada origem; número de pessoas que chegam a cada destino, etc., devemos maximizar a Equação (3.10), ou melhor, o seu logaritmo, sujeito a essas restrições, para que possamos obter a distribuição de viagens mais provável.

O nosso problema é:

Maximizar  $\ln W$

sujeito a

$$\sum_j V_{ij} = O_i \quad \sum_i V_{ij} = D_j \quad \text{e} \quad \sum_{ij} V_{ij} \cdot C_{ij} = CT$$

Agora, usando o método de Lagrange, conforme vimos na Seção 3.3, temos:

$$L = \text{Ln} W - \sum_i \lambda_i \sum_j (V_{ij} - O_i) - \sum_j \delta_j \sum_i (V_{ij} - D_j) - \gamma \sum_{ij} (V_{ij} \cdot C_{ij} - \text{CT}) \quad (3.13)$$

Onde:  $\lambda_i, \delta_j$  e  $\gamma$  são os multiplicadores de Lagrange;

$C_{ij}$  é o custo de viagem de  $i$  para  $j$ ; e

$\text{CT}$  é custo de viagem de entre todos os pares  $i$  e  $j$ .

Uma relação útil para derivarmos  $\text{Ln} W$  em relação ao número de viagens de  $i$  para  $j$  é a aproximação de Stirling:

$$\text{Ln } V_{ij}! = V_{ij} \cdot \text{Ln } V_{ij} - V_{ij}$$

$$\frac{\partial \text{Ln } V_{ij}!}{\partial V_{ij}} = \text{Ln } V_{ij}$$

$$\text{Finalmente, } V_{ij} = e^{-\lambda_i - \delta_j - \gamma C_{ij}} \quad (3.14)$$

$$\sum_j V_{ij} = \sum_j e^{-\lambda_i - \delta_j - \gamma C_{ij}} = e^{-\lambda_i} \sum_j e^{-\delta_j - \gamma C_{ij}} = e^{-\lambda_i} \frac{1}{A_i} = O_i$$

(total de viagens originadas em  $i$  é igual a  $O_i$ )

$$\sum_i V_{ij} = \sum_i e^{-\lambda_i - \delta_j - \gamma C_{ij}} = e^{-\delta_j} \sum_i e^{-\lambda_i - \gamma C_{ij}} = e^{-\delta_j} \frac{1}{B_j} = D_j$$

(total de viagens destinadas a  $j$  é igual a  $D_j$ )

Finalmente, podemos escrever a Equação (3.15) como:

$$V_{ij} = A_i \cdot B_j \cdot O_i \cdot D_j \cdot e^{-\gamma C_{ij}} \quad (3.15)$$

que é muito semelhante aos modelos gravitacionais vistos anteriormente.

A calibração do modelo é feita mediante regressão linear aplicada à Equação (3.15) linearizada.

### 3.8.3. Divisão modal

Esta é a etapa que concentrou a maior parte das pesquisas realizadas na área de demanda nos últimos 20 anos. Por mais incrível que possa parecer, o impulso inicial foi dado por políticos. É que no início da década de 70, políticos americanos e europeus passaram a manifestar suas preocupações com a escalada de congestionamentos nos sistemas viários das grandes cidades. Estes administradores públicos estavam convencidos de que se fazia necessária a adoção de medidas visando aliviar o problema de congestionamento e do consumo de derivados de petróleo. Mas antes desejavam ter uma idéia das magnitudes dos efeitos dessas medidas. Os modelos disponíveis à época, por se tratarem de modelos agregados, isto é, de modelos cujas variáveis são índices médios da zona de tráfego, não eram suficientemente sensíveis para refletir o impacto das medidas que fossem tomadas, sobre os usuários. Era então necessário desenvolver modelos comportamentais, isto é, modelos baseados no comportamento do homem com os quais pudessem avaliar a reação dos usuários frente a essas medidas de curto

prazo, fossem elas técnicas ou políticas. Foi meio a essa cobrança que surgiu o Modelo Logit, o modelo mais usado na atualidade para se analisar a escolha modal.

### 3.8.3.1. Um modelo agregado para divisão modal

Mas antes de estudarmos o Modelo Logit, vejamos pelo menos um modelo de divisão modal denominado agregado pois, na ausência de dados desagregados para calibrar um Modelo Logit, os modelos agregados podem ser a solução, se bem que seja perfeitamente possível calibrar um Modelo Logit com dados agregados. Existem inúmeros modelos agregados de divisão modal. Vamos apresentar um, o modelo que foi utilizado em "Northeast Corridor Transportation Project - NECTP" que foi objeto de vários estudos (exemplos: Shuldiner, 1970; Bilheimer, 1972; e Sória, 1977). O modelo é baseado em duas hipóteses: a) a partição das viagens entre diferentes modalidades de transporte é proporcional ao nível de serviço ofertado pelas modalidades numa determinada ligação; b) o nível de serviço pode ser estimado através de uma expressão matemática do tipo

$$W_{ijm} = a \cdot T_{ijm}^b \cdot C_{ijm}^c \cdot F_{ijm}^d \quad (3.16)$$

onde:  $W_{ijm}$  - nível de serviço do modo m, entre i e j;

$T_{ijm}$  - tempo de viagem entre i e j pelo modo m;

$C_{ijm}$  - custo monetário da viagem entre i e j pelo modo m;

$F_{ijm}$  - frequência de viagem entre i e j oferecida pelo modo m; e

a,b,c,d - constantes que independem da modalidade ou das zonas.

A primeira hipótese nos permite escrever a relação entre o número de viagens e nível de serviço entre i e j por modo m, da seguinte forma:

$$N_{ijm} = K \cdot W_{ijm} \quad (3.17)$$

Escrevendo a equação acima para cada um dos modos, e somando as m equações, membro a membro, temos:

$$N_{ij1} + N_{ij2} + \dots + N_{ijm} = K \cdot [W_{ij1} + W_{ij2} + \dots + W_{ijm}] = N_{ij}$$

$$\text{de onde se obtém } K = N_{ij} / [W_{ij1} + W_{ij2} + \dots + W_{ijm}] \quad (3.18)$$

Substituindo (3.18) em (3.17) e rearranjando, obtemos o número de viagens a serem efetuadas por intermédio de modo m, em função do nível de serviço de cada um dos modos alternativos.

$$N_{ijm} = N_{ij} \{W_{ijm} / [W_{ij1} + W_{ij2} + \dots + W_{ijm}]\} \quad (3.19)$$

Conforme o leitor poderá verificar um pouco adiante, a Equação (3.19) que determina a repartição modal (expressão que está entre chaves) é muito semelhante ao Modelo Logit Multinomial. As principais diferenças são:

- Os modelos agregados empregam dados médios das zonas na estimação de seus parâmetros, enquanto que no Modelo Logit isto é feito com os dados individuais das pessoas pesquisadas.

- Nos modelos agregados, a partição das viagens é estimada em função do nível de serviço médio dos modos alternativos existentes nas zonas; no Modelo Logit Multinomial, a probabilidade de uma pessoa escolher um modo de viagem é estimada em função de utilidade que ela percebe nos modos.

3.8.3.2. Modelo Logit Multinomial (MLM)

Na realidade, mesmo à época, este não era um modelo novo. Ele já tinha sido usado por biólogos, e também na área de transporte ele fora usado por Warner em 1962. Mas somente depois que McFadden deu a interpretação comportamental ao modelo é que ele passou a ser intensamente estudado e aplicado. Vejamos então as suas premissas e desenvolvimento.

O modelo MLM é baseado nas seguintes hipóteses:

- O ser humano é capaz de perceber a utilidade de um objeto;
- O ser humano é capaz de comparar duas ou mais utilidades;
- O ser humano escolhe o objeto de maior utilidade;
- A utilidade de um modo de viagem pode ser quantificado em função de atributos do modo e de atributos sócio-econômicos do usuário;
- O erro na percepção de utilidade segue a distribuição acumulada de Weibull,

$F(\epsilon \leq \omega) = e^{-e^{-\omega}}$ , cuja f.d.p tem a seguinte forma:

$$f(\epsilon) = e^{-e^{-\omega}} \cdot e^{-\omega}$$

A utilidade percebida (U) pode ser escrita como sendo a utilidade verdadeira (V) mais um erro de percepção:

$$U = V + \epsilon$$

Assim, dados m modos alternativos de viagem, o modo k será percebido como sendo o mais útil de todos se:

$$V_1 + \epsilon_1 < V_k + \epsilon_k, \quad \text{ou} \quad \epsilon_1 < V_k - V_1 + \epsilon_k$$

$$V_2 + \epsilon_2 < V_k + \epsilon_k, \quad \text{ou} \quad \epsilon_2 < V_k - V_2 + \epsilon_k$$

.....

$$V_m + \epsilon_m < V_k + \epsilon_k \quad \text{ou} \quad \epsilon_m < V_k - V_m + \epsilon_k$$

Agora vamos integrar estas condições para todos os valores de  $\epsilon_k$ :

$$P_k = \int_{-\infty}^{\infty} f(\epsilon_k) \cdot F(\epsilon_1 < V_k - V_1 + \epsilon_k) \cdot F(\epsilon_2 < V_k - V_2 + \epsilon_k) \cdots F(\epsilon_m < V_k - V_m + \epsilon_k) d\epsilon_k$$

$$P_k = \int_{-\infty}^{\infty} e^{-\epsilon_k} \cdot e^{-e^{-(V_k - V_1 + \epsilon_k)}} \cdot e^{-e^{-(V_k - V_2 + \epsilon_k)}} \cdots e^{-e^{-(V_k - V_m + \epsilon_k)}} d\epsilon_k$$

$$P_k = \int_{-\infty}^{\infty} e^{-\epsilon_k} \cdot e^{-e^{-\epsilon_k}} \cdot e^{-V_k} [e^{V_1} + e^{V_2} \dots + e^{V_m}] \cdot d\epsilon_k$$

$$P_k = \frac{e^{V_k}}{e^{V_1} + e^{V_2} + \dots + e^{V_m}} \quad (3.20)$$

Considerando-se que a utilidade de um modo possa ser descrita através de uma função linear, temos:

$$V_{jk} = \sum_{j=0}^p a_{jk} \cdot X_{ijk} \quad (3.21)$$

onde:  $X_{jk}$  com  $k = 1, 2, \dots, p$ , é a variável  $j$  da função utilidade, e  
 $X_{ijk} = 1$ , para  $j=1$ .  
 $a_{jk}$  com  $k = 1, 2, \dots, p$ , é o coeficiente da variável  $j$ .

#### *Calibração do Modelo Logit Multinomial*

Podemos notar, através das Equações (3.20) e (3.21) que o cálculo da probabilidade de um indivíduo usar um dado modo de viagem depende dos parâmetros  $a_{jk}$ . A estimação destes parâmetros é geralmente denominada calibração do modelo Logit.

Quando houver apenas dois modos alternativos, a calibração pode ser feita usando a técnica de regressão linear, pois é possível linearizar o modelo. Porém, o uso dessa técnica torna-se impossível quando o número de modos disponíveis passa de dois.

Nesses casos, que aliás ocorrem na maioria das vezes, a calibração é feita mediante a técnica de máxima verossimilhança. Essa técnica está baseada na idéia de que se um indivíduo pertencente a uma determinada classe sócio-econômica conhece os atributos dos modos alternativos, e opta por um dado modo de viagem, é porque este lhe parece ser o mais útil. Em outras palavras, a probabilidade de o indivíduo escolher esse modo é grande.

Esse raciocínio pode ser aplicado a um conjunto de indivíduos. Se o raciocínio é válido para todos, então também o produto das probabilidades de cada um escolher o modo que realmente escolheu deve ser grande.

A calibração consiste, então, em ajustar os parâmetros de tal maneira que o produto de todas as probabilidades seja o máximo.

$$L = \prod_{i=1}^n P_{ik_0} \quad (3.22)$$

A maximização da função verossimilhança ( $L$ ) pode ser conseguida através da maximização do seu logaritmo ( $LL$ ), já que esta é estritamente crescente no domínio da função. Aplicando logaritmo em ambos os membros, temos:

$$LL = \sum_{i=1}^n \text{Ln}(P_{ik_0})$$

O máximo da função  $LL$  é conseguida quando as suas derivadas parciais em relação aos parâmetros forem iguais a zero.

$$\frac{\partial LL}{\partial a_{jk}} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{P_{ik_0}} \cdot \frac{\partial P_{ik_0}}{\partial a_{jk}} \quad (3.23)$$

A derivada da função probabilidade em relação a cada um dos parâmetros pode ser escrita como:

$$\frac{\partial P_{ik_0}}{\partial a_{jk}} = \frac{\exp(\sum_{j=1}^p a_{jk} \cdot X_{ijk_0}) \cdot X_{ijk_0} \cdot \exp(\sum_{j=1}^p a_{jk} \cdot X_{ijk_0}) \cdot \sum_{k=1}^m (X_{ijk_0} \cdot \exp(\sum_{j=1}^p a_{jk} \cdot X_{ijk_0}))}{\sum_{k=1}^m \exp(\sum_{j=1}^p a_{jk} \cdot X_{ijk_0}) \cdot (\sum_{k=1}^m \exp(\sum_{j=1}^p a_{jk} \cdot X_{ijk_0}))^2}$$

Dai temos:

$$\frac{\partial P_{ik_0}}{\partial a_{jk}} = P_{ik_0} \left\{ X_{ijk_0} - \frac{\sum_{k=1}^m X_{ijk_0} \cdot \exp(\sum_{j=1}^p a_{jk} \cdot X_{ijk_0})}{\sum_{k=1}^m \exp(\sum_{j=1}^p a_{jk} \cdot X_{ijk_0})} \right\} \quad (3.24)$$

Substituindo a Equação (3.23) em (3.24), teremos a Equação (3.25):

$$\frac{\partial LL}{\partial a_{jk}} = \sum_{i=1}^n \left\{ X_{ijk_0} - \frac{\sum_{k=1}^m X_{ijk_0} \cdot \exp(\sum_{j=1}^p a_{jk} \cdot X_{ijk_0})}{\sum_{k=1}^m \exp(\sum_{j=1}^p a_{jk} \cdot X_{ijk_0})} \right\} = 0 \quad (3.25)$$

Para resolvermos o sistema de p equações a p incógnitas, recorreremos a métodos numéricos, especificamente ao método de Newton-Jordan.

O método consiste em obter uma função linear H que tenha valores aproximadamente iguais aos da Equação (3.25) na vizinhança de um ponto  $(a_0^0, a_1^0, \dots, a_n^0)$ . Para isso, vamos tomar os dois primeiros termos da Equação (3.25) desenvolvida em série de Taylor.

A derivada segunda da LL em relação a  $a_p$  é:

$$\frac{\partial^2 LL}{\partial a_{ik} \partial a_{ik}} = - \sum_{i=1}^n \left\{ \frac{\sum_{k=1}^m X_{ijk} \cdot X_{iik} \cdot \exp(\sum_{j=1}^p a_{jk} \cdot X_{ijk})}{\sum_{k=1}^m \exp(\sum_{j=1}^p a_{jk} \cdot X_{ijk})} - \frac{\sum_{k=1}^m [X_{ijk} \cdot \exp(\sum_{j=1}^p a_{jk} \cdot X_{ijk})] \cdot \sum_{k=1}^m [X_{iik} \cdot \exp(\sum_{j=1}^p a_{jk} \cdot X_{iik})]}{[\sum_{k=1}^m \exp(\sum_{j=1}^p a_{jk} \cdot X_{ijk})]^2} \right\} \quad (3.26)$$

A j-ésima equação pode ser escrita como:

$$H_j = \frac{\partial LL}{\partial a_{jk}} + \frac{\partial^2 LL}{\partial a_{jk} \partial a_{0k}} (a_{0k}^1 - a_{0k}^0) + \frac{\partial^2 LL}{\partial a_{jk} \partial a_{1k}} (a_{1k}^1 - a_{1k}^0) + \dots + \frac{\partial^2 LL}{\partial a_{jk} \partial a_{pk}} (a_{pk}^1 - a_{pk}^0),$$

para as derivadas primeiras e segundas calculadas no ponto  $(a_0^0, a_1^0, \dots, a_n^0)$ .

Na forma vetorial, temos:

$$\vec{H}_1 = \frac{\partial \vec{LL}}{\partial a} + M \cdot (\vec{A}_1 - \vec{A}_0),$$

onde

$\frac{\partial \vec{LL}}{\partial a}$  é o vetor formado pelas derivadas parciais do logaritmo da função verossimilhança em relação a cada um dos parâmetros da função utilidade.

Agora, fazendo  $\vec{H} = 0$ , temos

$$\vec{A}_1 = -M^{-1} \cdot \frac{\partial \vec{LL}}{\partial a} + \vec{A}_0 \quad (3.25)$$

Caso o primeiro termo do segundo membro da Equação (3.25) seja maior do que um vetor estipulado, substituímos o vetor  $\vec{A}_1$  no lugar do  $\vec{A}_0$ , na Equação (3.25), e o processo se repete até que a condição seja satisfeita. O vetor que satisfaz a condição é a solução do problema. Observe novamente a Equação (3.25). Os elementos da matriz  $M$  são as variâncias e covariâncias das variáveis usadas no processo de calibração. Os valores da diagonal são as variâncias. Aqui estamos interessados na variância dos parâmetros. Neste caso elas são obtidas diretamente da diagonal da matriz inversa.

#### *Variáveis que descrevem a escolha modal*

As variáveis usadas para explicar a escolha modal podem ser subdivididas em duas categorias: variáveis sócio-econômicas e variáveis que caracterizam os modos de viagem. Algumas dessas variáveis serão apresentadas a seguir.

##### a) Variáveis sócio-econômicas

- *Renda.* Esta é uma das variáveis mais importantes, pois é ela que permite usar os modos mais convenientes porém mais caros;
- *Idade e posição na família.* A idade influi na escolha modal, uma vez que a habilitação para dirigir automóvel ou motocicletas é concedida apenas para maiores de idade; na outra extremidade estão os idosos que deixam de dirigir por causa da redução da capacidade física. Quanto à posição do indivíduo na família, ela é decisiva no uso do automóvel quando a família possui um, pois geralmente o privilégio de usá-lo é do "chefe de família";
- *Disponibilidade de automóvel.* Caso o indivíduo não tenha um automóvel à disposição, ele será usuário de transporte coletivo, um pedestre, ou vai tomar carona em um automóvel;
- *Tamanho da família.* Esta variável deve ser analisada em conjunto com a renda familiar. Uma família grande com alta renda familiar provavelmente dispõe de vários automóveis;
- *Local de residência.* O local de residência pode ser importante para a escolha modal em algumas situações específicas, tais como em centros de cidades antigas, zonas predominantemente comerciais, etc., onde poucos possuem garagens privadas;

- *Profissão.* Na verdade esta variável está bastante correlacionada à renda. Existem muitas profissões em que o automóvel é um instrumento de trabalho. Mas existem também profissões cujo desempenho está relacionado ao uso de automóveis.

b) Variáveis que caracterizam os modos de viagem

- *Tempo de viagem no interior do veículo.* Esta parcela do tempo de viagem indica um dos componentes de nível de serviço (rapidez) dos modos alternativos.
- *Tempo de acesso, espera e de transferência.* São as parcelas do tempo de viagem que indicam a acessibilidade dos usuários ao destino.
- *Custo monetário da viagem.* Um aspecto importante a ser ressaltado é que o custo a ser considerado no modelo comportamental deve, necessariamente, referir-se ao custo percebido. No caso de viagem de ônibus, é o preço da passagem; no caso de automóvel, o custo percebido geralmente se restringe ao de combustível. Para estudantes de engenharia isso pode parecer estranho, uma vez que sempre ressaltamos que ao uso de veículos está associada uma série de custos tais como IPVA, depreciação, óleo lubrificante, etc. No entanto, em se tratando de escolha, que é uma questão psicológica, devemos levar em conta somente o custo que vem à mente ao escolher um modo de viagem.
- *Variáveis qualitativas e atitudinais.* Existem muitas variáveis que não podem ser quantificadas, tais como conforto (pelo menos o conforto físico pode ser quantificado em termos do inverso da energia física dispendida durante a viagem - exemplo: caminhada consome 4.5 KCal/min., viagem sentado 2.0 KCal/min.), segurança, confiabilidade, etc. Além disso, existem certas atitudes, como a de evitar viajar de avião, provocadas por medo.

### 3.9. Dados auxiliares para a elaboração de matriz origem/destino

A matriz origem-destino tem como finalidade descrever as linhas de desejo da população de uma área ou de uma região em estudo com respeito a viagens. Em outras palavras, é um quadro que mostra o volume de viagens que a população da área gostaria de realizar entre pares de pontos, num determinado período de tempo. Para um planejador de transporte essas informações são básicas, uma vez que o seu desconhecimento pode resultar em oferta de transporte insuficiente para atender à demanda, ou em superdimensionamento da oferta que encareceria desnecessariamente o transporte.

A matriz origem-destino ideal seria aquela que realmente mostrasse as linhas de desejo. Todavia, para se obter uma matriz origem-destino representativa, é necessário que se faça uma pesquisa de campo bem elaborada, entrevistando uma quantidade significativa de moradores de todas as zonas de tráfego da área em estudo. Infelizmente, uma pesquisa dessa natureza envolve um custo e tempo relativamente grandes, a menos que ela seja feita pela FIBGE na ocasião do recenseamento, como é feito em muitos países da Europa. Dadas essas dificuldades, geralmente a matriz é obtida com o auxílio de modelos de demanda analisadas ao longo deste capítulo. E, nesse processo, quaisquer dados adicionais que venham a melhorar o "acerto" da matriz, são bem-vindos. É o caso de dados de origem-destino obtidos nas linhas de transporte coletivo.

#### 3.9.1. Pesquisa origem-destino nas linhas de transporte coletivo

É uma pesquisa feita em linhas de transporte coletivo. Ela permite estimar o número de pessoas que viajam de um ponto para outro da linha. Quando essa pesquisa é feita de maneira a levar em conta também as transferências, os resultados podem ser usados para elaborar a matriz origem-destino dos usuários de transporte público. A matriz assim obtida tem alguns defeitos,



uma vez que apenas cobre as zonas de tráfego servidas pelo transporte coletivo, e portanto não permite identificar os usuários em potencial. Também não especifica exatamente a zona de origem e de destino, e sim os pontos de embarque e de desembarque. Apesar dessas falhas, a pesquisa origem-destino nas linhas de transporte coletivo fornece importantes informações. Basta que ela seja complementada com outras pesquisas.

O método mais utilizado é o do "santinho". Esse nome vem da similaridade das dimensões do cartão usado na pesquisa com aqueles em que estão estampadas as figuras dos santos. Neste método, cada usuário que embarca no transporte coletivo recebe de um pesquisador um cartão com a inscrição do nome ou código do ponto de ônibus ou da estação de metrô de embarque (o cartão pode conter também o horário de embarque); ao desembarcar, o usuário entrega o cartão a algum pesquisador; os cartões recebidos são colocados num recipiente com a inscrição do horário e do nome ou código do ponto de ônibus ou da estação de metrô de desembarque. O total de cartões existentes num envelope indica o volume de usuários com destino àquele ponto num determinado horário. Os envelopes indicam o destino, ou seja, uma coluna da matriz, e os cartões indicam a origem. Assim, para se preencher uma dada célula daquela coluna, basta que se conte os cartões com o ponto de embarque correspondente ao da célula.

### Exercícios

1. A tabela abaixo apresenta os anos, os respectivos número de viagens anuais e os custos médios por viagem observados entre um determinado par de cidades.

| Ano  | Tráfego | Custo por viagem (em US\$) |
|------|---------|----------------------------|
| 1970 | 15000   | 10                         |
| 1980 | 28000   | 15                         |
| 1990 | 40000   | 17                         |

a) O volume de tráfego pode ser expresso em função do custo? Porque?

b) Quais eventos podem ter causado tal série de observações?

2. Em São Carlos, um shopping center encontra-se em construção na proximidade do entroncamento da Av. Marginal com a Av. Tancredo Neves. Suponha que você esteja interessado em elaborar um modelo de demanda que represente o volume de viagens semanais feitas entre a cidade e o Shopping center. Quais são as variáveis que você incluiria no modelo, e como você coletaria os dados referentes a cada variável para a calibração do modelo?

3. Suponha que a demanda de viagem por automóvel entre a zona sul de São Carlos (do outro lado da ferrovia - Vila Prado, Redenção, etc.) e a Universidade Federal de São Carlos possa ser expressa pela seguinte equação:

$$V_a = \alpha \cdot T_a^{\beta} \cdot T_b^{\gamma} \cdot C_b^{\delta} \cdot C_a^{\epsilon + \theta \cdot R}$$

onde:

$T_a, T_b$  - tempo total de viagem entre a Zona Sul e a UFSCAR por automóvel e ônibus, respectivamente;

$C_a, C_b$  - custo médio das viagens entre esse par de origem e destino por automóvel e ônibus;

$R$  - renda mensal média na zona sul;

As letras gregas são parâmetros do modelo. Pede-se:

- a) Determinar a elasticidade da demanda em relação ao custo;
- b) Identificar e justificar o sinal de cada parâmetro, segundo o que você acha a priori;
- c) Se  $\beta = -0.7$ ,  $\gamma = 0.1$ , e  $\delta = 0.2$ , que variação percentual você esperaria para o volume de viagem por automóvel caso o tempo de viagem por ônibus reduzisse de 10% enquanto o tempo de automóvel aumenta em 5% e a tarifa de ônibus sofre um aumento de 10%?
- d) O modelo pode ser usado para avaliar o valor que esses usuários de automóvel atribuem ao tempo?

4. Os seguintes modelos de geração e atração de viagens foram obtidos a partir da técnica de regressão aplicada a dados coletados junto aos moradores de uma cidade. Ao transcrever os resultados, vários erros foram cometidos. Identifique os erros que aparecem nas seguintes equações:

- a) Geração de viagens por motivo compra:

$$G_c = 30.9 + 91.0 X_1 - 0.7X_2 + 0.3X_3 + 1.3X_4$$

onde:  $G_c$ - total de viagens geradas por dia, por motivo compra;

$X_1$ - número de unidades residenciais na zona;

$X_2$ - renda média da zona;

$X_3$ - número de famílias por zona;

$X_4$ - acessibilidade da zona.

Obs.: Existem várias maneiras de definir a acessibilidade. Para efeito deste exercício, vamos considerar que seja o tempo médio de viagem entre a zona e o centro da cidade.

- b) Geração de viagens por motivo trabalho:

$$G_t = 20.0 + 1.5 X_5 - 0.7X_6 + 1.3X_7$$

onde:  $G_t$ - total de viagens diárias geradas por família, por motivo trabalho;

$X_5$ - renda familiar média;

$X_6$ - número de pessoas economicamente ativa por família;

$X_7$ - população da zona.

5. Dada a seguinte matriz de tempo de viagens (em minutos) e total de viagens produzidas e atraídas, obtenha a distribuição de viagem usando a maximização da entropia, de tal maneira que o tempo médio de viagem seja 5.5 min.

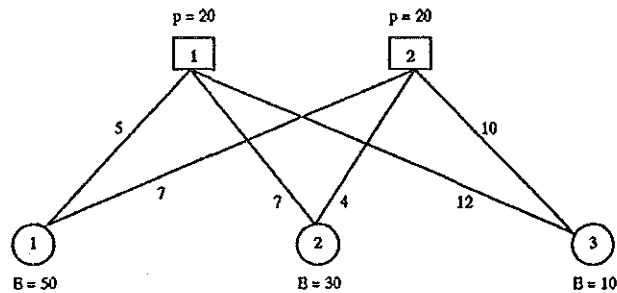
| Origem\destino | 1  | 2 | 3 | 4 |
|----------------|----|---|---|---|
| 1              | 5  | 4 | 3 | 2 |
| 2              | 10 | 8 | 4 | 7 |
| 3              | 9  | 9 | 8 | 4 |

Produções (gerações)  $O_i = \{5, 5, 5\}$

Atrações

$$D_j = \{1, 6, 2, 6\}$$

6. A figura abaixo mostra esquematicamente duas origens e três destinos, cada uma com a respectiva população  $p$  e respectivo número de empregos  $E$ . Nos segmentos de reta ligando cada par de origem e destino está indicado o custo de viagem  $C_{ij}$ . A matriz origem-destino das viagens motivadas por trabalho estão apresentados no quadro abaixo.



| Origem\destino | 1  | 2 | 3 | Total |
|----------------|----|---|---|-------|
| 1              | 10 | 3 | 2 | 15    |
| 2              | 8  | 5 | 2 | 15    |
| Total          | 18 | 8 | 4 | 30    |

Pede-se calibrar um modelo gravitacional e um modelo entrópico usando os valores acima.

6. Dado o modelo Logit para escolha modal - entre automóvel e ônibus - com utilidades

$$U_A = a_A + b \cdot t_A \quad e \quad U_B = b \cdot t_B$$

onde:  $t_k$  = tempo de viagem por modo  $k$

$A$  = automóvel

$B$  = ônibus

$a_A$  = constante específica para automóvel

$b$  = coeficiente do tempo

- Porque não teria significado adicionar uma constante  $a_B$ , uma constante específica do modo ônibus, na utilidade  $U_B$ ?
- Você pode imaginar uma justificativa teórica para a inclusão de um termo constante na equação de utilidade?
- Se você tivesse alguma razão para acreditar que idade é um fator na escolha modal - específica que pessoas mais velhas usam menos o ônibus - como você a incluiria na equação de utilidade? Ela apareceria em ambas as equações, ou em apenas uma?
- Suponha que um novo modo, digamos ferroviário, seja introduzido e que sua

utilidade seja representada pela seguinte equação:

$$U_R = b \cdot t_R$$

O que acontece a  $P_A$  e  $P_B$  após a introdução do terceiro modo? O que acontece com a razão  $P_A/P_B$ ?

7. Uma rede de rodovia conecta duas cidades, conforme mostra a figura abaixo. A demanda por viagem da cidade A a cidade B é dada por

$$V_{AB} = 5000 - 125t_{AB}$$

onde:  $V_{AB}$  = volume de viagem de A a B

$t_{AB}$  = tempo de viagem (em minutos) entre A e B

Os tempos de viagem nas ligações 1, 2 e 3 dependem do volume de tráfego. Eles são dados por:

$$t_1 = 5 \text{ min para } V_1 \leq 2000$$

$$t_1 = V_1/400 \text{ para } V_1 > 2000$$

$$t_2 = 5 \text{ min para } V_2 \leq 2000$$

$$t_2 = V_2/400 \text{ para } V_2 > 2000$$

$$t_3 = 5 \text{ min para } V_3 \leq 1000$$

$$t_3 = V_3/200 \text{ para } V_3 > 1000$$

---

## 4. CUSTOS DE TRANSPORTE

---

### 4.1. Introdução

Sempre que se fala em custo de transporte, não podemos esquecer de especificar a entidade que está sujeita a esse custo. Exemplo: para os usuários de ônibus interurbanos, o custo do transporte interurbano corresponde ao preço da passagem de ônibus. Para as empresas de ônibus e concessionárias das linhas interurbanas, o custo é a soma de inúmeros itens de custos tais como combustível, pneus e câmaras, óleo lubrificante, desgaste dos ônibus, salário de motorista, imposto pago ao governo, etc, que constituem os insumos necessários para ofertar o serviço de transporte. Para o governo em qualquer nível, que faz a manutenção e conservação das rodovias, o custo corresponde à quantia que ele gasta com esses serviços. Neste capítulo trataremos apenas dos custos ao ofertante de serviço de transporte, seja ele uma empresa pública ou privada que constrói, faz a manutenção e fiscaliza o uso das vias e terminais, ou que operam veículos.

O custo de produção em transporte é analisado pela maioria dos autores dentro dos conceitos da teoria micro-econômica tradicional. Assim, implicitamente considera-se que a produção de transporte seja semelhante à produção de bens de consumo. A analogia é aceitável desde que se ressalve alguns pontos. Por exemplo, nas empresas produtoras de bens de consumo, é possível programar a produção observando-se apenas a demanda média. A produção pode ser constante, de maneira que quando a oferta supera a demanda estoca-se o bem, que será desovado quando a demanda superar a produção. Esse procedimento viabiliza o dimensionamento da capacidade da empresa produtora de bens de consumo e possibilita o aproveitamento total das economias de escala eventualmente existentes. Entretanto, no caso de serviços, essa abordagem torna-se falha, sobretudo quando se considera o transporte urbano, o qual está rigidamente vinculado aos horários e à frequência mínima de serviço. Este tipo de serviço é extremamente perecível e exige o seu aproveitamento no local e no instante de produção, sob pena de perder parcial ou totalmente o serviço. Por outro lado, a impossibilidade

de estocar serviços, aliada à pressão exercida pelos usuários, obriga a empresa a dimensionar sua capacidade em função da demanda de pico ou próximo dela. Decorre daí a subutilização dos equipamentos e/ou instalações nos períodos entre picos, quando se procura adequar a oferta à demanda, por questão de economia. Outro fator que invalida a aplicação da teoria micro-econômica ao problema de transporte refere-se às quantidades ofertadas e demandadas, que não dependem somente do preço mas também do nível de serviço, que influi decisivamente no custo e no benefício do investimento. Assim, torna-se importante enfocar o problema do custo de produção de transporte observando-se as peculiaridades da atividade, as quais inviabilizam um tratamento baseado no enfoque dado pela teoria micro-econômica.

Para se determinar custos é preciso, antes de mais nada, descrever os sistemas físicos utilizados e a sua operação. Então, especifica-se os fatores de produção requeridos, incluindo-se aí a mão de obra e os insumos materiais. Na realidade, a relação entre produto e insumo é definida pela tecnologia e política de operação adotadas. Este tipo de relação é normalmente denominada função produção, e fornece subsídios para determinar os insumos necessários para a produção de uma dada quantidade de produto.

Embora uma função produção completamente especificada seja muito útil, a sua obtenção não é simples, principalmente porque cada elemento do sistema de transporte envolve grande número de alternativas tecnológicas e físicas. Consideremos, a título de exemplo, a construção de uma rodovia com quatro faixas. Mesmo já definido o modo (rodoviário), engenheiros deverão optar pela melhor tecnologia a ser utilizada (por exemplo, pavimento de concreto portland ou de asfalto). Em se tratando de vias, o principal problema é que a quantidade de insumos necessários para a construção de uma unidade (por exemplo 1 km) depende basicamente da qualidade geotécnica do solo e da topografia, que geralmente são muito variáveis ao longo do seu traçado.

Uma vez especificada a função produção ou a opção tecnológica para o nível de produção considerado, os insumos devem ser traduzidos em termos de custo, a fim de estabelecer a função custo. Vejamos inicialmente o tratamento formal da função produção.

## 4.2. Função produção

Na obtenção de uma determinada quantidade de serviço de transporte, são combinados diversos fatores de produção que formam o conjunto de elementos necessários para se efetuar o serviço. Esse conjunto é formado de vias, veículos, terminais, outros equipamentos e instalações, mão de obra para operação e manutenção, etc. A combinação eficiente destes elementos é determinada pela tecnologia adotada. Principalmente no setor de transporte de passageiros urbanos por ônibus, devido à rigidez das especificações tecnológicas, os fatores de produção são combinados na proporção aproximadamente constante, praticamente não permitindo a substituição de um pelo outro, conforme afirma Quast (1970). Assim, dada a tecnologia, é possível relacionar o volume de serviço ofertado com as quantidades de insumos utilizados na sua produção. Evidentemente essa relação pode ser expressa através de tabelas, gráficos ou equações. No entanto, a mais preferida é a representação através de expressões matemáticas, pois elas possibilitam a visualização da forma como cada fator influi na produção, além de permitir a avaliação da sua produtividade. Sobretudo, quando se trata de transporte urbano de passageiros, que apresenta forte oscilação da demanda e, por conseguinte, da oferta ao longo do dia, é necessário que a função produção seja sensível à variação da intensidade no uso de cada fator, e refletir com precisão o custo decorrente.

#### 4.2.1. Unidades de produção

Na produção de serviços de transporte, a unidade de produção é muito importante porque, ao contrário da produção de bens de consumo que é normalmente indicada em termos de uma única unidade (por exemplo, toneladas de trigo, ou unidades de veículos, ou metros quadrados de tecido, etc.), em transporte a produção é indicada através de diferentes unidades (por exemplo, toneladas de trigo transportadas, unidades de veículos transportados, metros quadrados de tecidos transportados, etc.), e também através da distância de transporte. Sobretudo quando a função produção é utilizada como base para determinação de custos, a unidade deve refletir, além da quantidade transportada, a distância de transporte. As unidades de produção mais utilizadas em transporte são:

- Relacionadas aos veículos:
  - a) t (toneladas, no caso de cargas) ou número de passageiros;
  - b) t.km (carga) ou pass.km (passageiro.quilômetro) por unidade de tempo;
  - c) número de assentos oferecidos (passageiros);
  - d) km - distância de transporte.
- Relacionadas às vias:
  - a) km - relacionada à implantação e manutenção da via
  - b) veículos/unidade de tempo (fluxo de veículos na via);
  - c) t.km ou pass.km por unidade de tempo - fluxo de "trabalho" sobre a via;
- Relacionadas aos terminais:
  - a) m<sup>2</sup> - relacionada à capacidade de produção, à construção, manutenção, limpeza, etc.;
  - b) veículos/h processados;
  - c) passageiros/h processados;
  - d) unidade de carga/h processada.

Também é importante que se adote unidades convenientes para expressar a quantidade de insumos pois, em última análise são estes que definem o custo. As unidades de insumos mais usadas são: l (litro), h (hora), t (tonelada), km (quilômetro), número de veículos, etc.

Porém, nenhuma destas unidades, usada isoladamente, é suficiente para representar a variedade de insumos envolvidos na produção de transporte. O que geralmente se faz é adotar algumas delas, de modo que cada uma reflita um grupo de insumos. Por exemplo, a unidade quilômetro relaciona-se muito bem com o consumo de combustível, lubrificantes, pneus e câmaras, etc.. No entanto ela não reflete a necessidade, por exemplo, de mão de obra. Para elucidar esta questão, considere uma linha de ônibus que é operada com 3 ônibus para satisfazer à frequência programada, a uma velocidade comercial de 30 km/h. A linha passará a exigir 6 ônibus caso a condição de tráfego na linha piore a ponto de permitir velocidade comercial de apenas 15 km/h, e o operador persista em manter a frequência programada. Note-se que, embora a distância total percorrida pelos ônibus na linha não tenha aumentado, o gasto com motoristas e cobradores dobrará.

Portanto, a consideração que normalmente se faz, de que o consumo de todos os insumos varia proporcionalmente com a distância percorrida, perde sentido quando o objetivo é o planejamento da futura operação da linha, cuja velocidade comercial é também uma variável. Conseqüentemente, para se obter uma função produção que relacione, com razoável precisão, a quantidade de serviço ofertado e os insumos necessários, deve admitir mais do que uma unidade de insumo.

### 4.3. Função custo

A função custo descreve uma relação entre a quantidade de transporte ofertada e o custo, ou seja, é a composição de todos os custos decorrentes da produção de transporte, sob dadas condições operacionais. Essa relação pode variar ao longo do tempo quando muitos fatores sofrem modificações ou substituições conforme tecnologia disponível em cada época. Porém, é importante adotar uma função que, mesmo sofrendo mudanças nos coeficientes, mantenha as suas características gerais inalteradas, uma vez que isso possibilita a sistematização e aplicação às diferentes tecnologias e características operacionais. No nosso caso, a oferta poderia ser caracterizada em termos de quantidade de serviço ou de nível de serviço. Mais adiante serão apresentadas as funções custo mais utilizadas na área de transportes. Antes disso, serão apresentados os conceitos fundamentais relacionados a custos, utilizando a função custo de uma variável.

#### 4.3.1. Custos fixos, custos variáveis e prazo de produção

Geralmente o custo é dividido em duas parcelas: custos fixos e custos variáveis. A primeira parcela independe do nível de produção, enquanto que a segunda varia com a produção. É importante notar que alguns dos insumos tais como combustível, óleo lubrificante, etc. possuem um ciclo relativamente curto de renovação, enquanto que o período de renovação de veículos, por exemplo, é relativamente longo. No setor de produção costuma-se separar os insumos de acordo com a duração do período em que se faz a sua renovação ou modificação, seja em termos de quantidade ou de qualidade. Dependendo desse período, um fator poderá ser considerado fixo e variável em relação ao período pré-fixado. Quanto menor for o período de análise, maior número de insumos tendem a ser fixos. Todavia, quando o período de tempo aumenta, permitindo assim o ajuste dos insumos aos processos de produção, aumenta também a possibilidade de maiores mudanças e conseqüentemente a proporção de fatores que podem ser variáveis aumenta. Sendo assim, o prazo de análise deve ser adotado levando-se em conta a conveniência e finalidade em cada caso.

No caso de transporte público de passageiros por ônibus, os fatores que determinam a dimensão da frota são a demanda da hora-pico, o nível de serviço nesse período, e as condições gerais de tráfego nas vias que constituem as rotas de ônibus. Na prática, estes não variam sensivelmente ao longo do ano. Assim, o número de ônibus pode ser considerado invariável ao longo do ano. Também os elementos da estrutura de apoio, tais como oficina, garagens, administração, etc., crescem de forma aproximadamente proporcional ao número de veículos da frota, e portanto invariável ao longo do ano. Portanto, não se verifica variações no número de veículos da frota quando se deseja aumentar o nível de serviço nos períodos entre picos, e sim apenas no consumo de combustível, pneus e câmaras e outros insumos que variam diretamente com a quilometragem percorrida ou com a hora de funcionários ligados a operação.

Porém, considerando-se que no Brasil o crescimento anual da população urbana tem oscilado em torno de 2,5 a 3,5 % ao ano, é de se esperar que em 3 anos haja um crescimento de 10 % no número de usuários de transporte coletivo. As empresas de transporte adquirem então mais ônibus para fazerem frente a esse incremento. Assim, a longo prazo também o número de veículos torna-se variável. Portanto, só tem sentido falar em custos fixos e custos variáveis se o prazo é especificado.

Na Figura 4.1, o custo fixo é representado através de suas iniciais CF, e o custo variável pela função  $CV(q)$ . A soma das duas parcelas é o custo total  $CT(q) = CF + CV(q)$ .



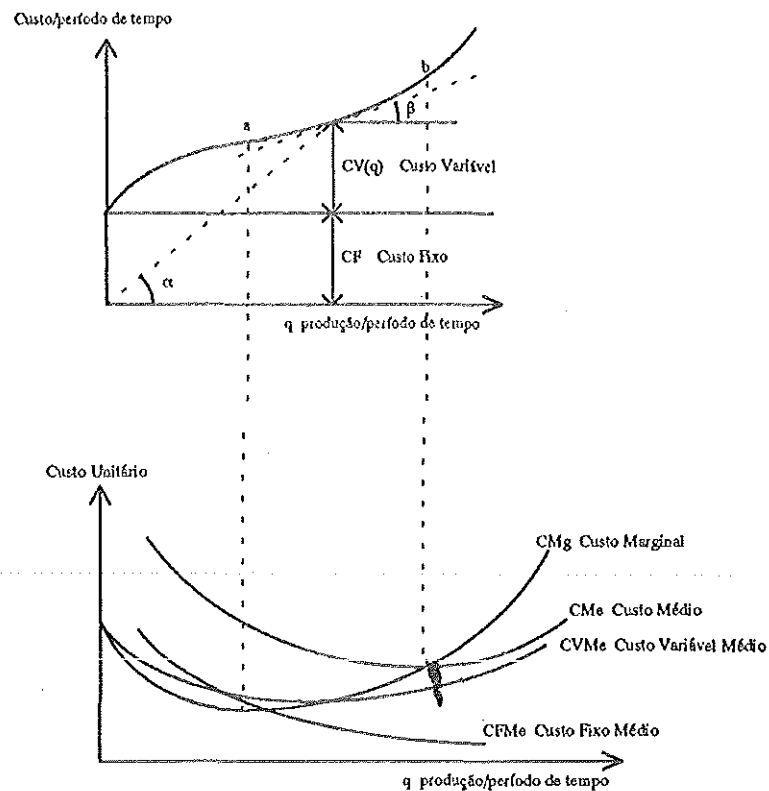


Figura 4.1: função custo total (figura de cima) e custos unitários (figura de baixo)

### 4.3.2. Custos unitários

Os conceitos e as curvas de custos unitários têm grande utilidade nas análises de preço e produção, tanto ou mais do que os custos totais. Fundamentalmente eles dão a mesma informação que o custo total, porém de modo diferente e de forma mais interessante. Os principais custos unitários são: custo total médio, custo marginal, custo fixo médio e custo variável médio.

#### 4.3.2.1. Custo variável médio

O custo variável médio é obtido através da divisão do custo variável pela quantidade produzida em diversos níveis de produção:  $CVMe = CV(q)/q$ . Conforme se pode ver na Figura 4.1, a curva de custo variável médio tem a forma de U. Existem basicamente duas razões para isso. A primeira é que nem todos os custos variáveis são perfeitamente divisíveis. Por exemplo, ao contrário do combustível que pode ser adquirido apenas na medida da necessidade, pneus e câmaras são adquiridos para rodar 70.000 a 80.000 km, elevando o custo daqueles que produzem pouco com eles. A outra razão é que numa transportadora que realiza, por exemplo, pouco transporte em relação à sua capacidade, os funcionários são obrigados a desempenharem também as funções nas quais não estão treinados, e isso provoca ineficiência e conseqüente aumento no custo. Porém, à medida que aumenta a produção, a empresa pode contratar especialistas em cada função, o que aumenta a eficiência e reduz o custo variável. Quando a produção atinge altos níveis, os custos variáveis médios tendem a aumentar rapidamente porque a capacidade, seja de uma fábrica, de uma rodovia, um terminal, um veículo, etc., deixa de ser compatível com o nível de produção.

#### 4.3.2.2. Custo fixo médio

Custo fixo médio, CFMe, é o custo fixo (CF) dividido pela quantidade produzida em vários níveis de produção:  $CFMe = CF/q$ . Visto que o custo fixo permanece constante independentemente da quantidade de bens produzidos, quanto maior for o nível de produção menor será o custo fixo médio, como se pode ver no segundo gráfico da figura 4.1, pois à medida que a produção aumenta, o custo fixo é distribuído para maior número de unidades produzidas.

#### 4.3.2.3. Custo total médio

Custo total médio é o custo total incorrido na produção de um bem dividido pela quantidade produzida. Ele corresponde à tangente do ângulo  $\alpha$  no primeiro gráfico da Figura 4.1.

$$CMe = CT(q)/q = CF/q + CV(q)/q$$

Pode-se ver no segundo gráfico da Figura 4.1 que a curva de custo médio (CMe) também tem a forma de U, decorrente da soma da curva de custo variável médio, que tem a forma de U, e de curva de custo fixo médio que é uma curva estritamente decrescente. Em suma, para baixo nível de produção prevalece elevado o custo fixo médio; à medida que se aumenta a produção, diminui o custo variável médio e o custo fixo médio e, conseqüentemente, o custo total médio. Quando a produção atinge altos níveis, os custos variáveis médios tendem a aumentar rapidamente porque a capacidade, seja de uma fábrica, de uma rodovia, um terminal, um veículo, etc., deixa de ser compatível com o nível de produção, e a distribuição do custo fixo para maior número de produção não é suficiente para compensar o crescimento dos custos variáveis.

#### 4.3.2.4. Custo marginal

O custo marginal é definido como sendo o acréscimo no custo total provocado pela produção de uma unidade adicional de um bem. Ele corresponde à tangente do ângulo  $\beta$  do primeiro gráfico da Figura 4.1; isto é, ele é a derivada do custo total em relação à quantidade de produção naquele ponto. Pode-se ver nos gráficos da Figura 4.1, que o custo marginal só depende da curva de custo variável. Isso fica mais evidente quando mostrado matematicamente:

$$CMg = \frac{dCT(q)}{dq} = \frac{d(CF + CV(q))}{dq} = \frac{dCV(q)}{dq}$$

A curva de custo marginal também tem a forma de U, pelas mesmas razões apresentadas em relação aos custos variáveis.

### 4.3.3. Tipos de função custo usados em transporte

Muitas vezes os operadores de transporte não chegam nem ao menos a esboçar a função custo de suas empresas, limitando-se a determinar o custo médio através da contabilização do custo total, e dividindo-o pela quantidade produzida. E, freqüentemente, os operadores usam este valor para o planejamento futuro. Implicitamente supõem que o custo médio permanece constante ao longo do tempo, sem considerar as eventuais variações no preço dos insumos, as características das vias e do serviço, e a intensidade de uso dos recursos disponíveis. Meyer e outros (1969) mostram a discrepância do resultado desse procedimento em relação à realidade.

#### 4.3.3.1. Função custo de uma variável

Esta é uma das funções mais utilizadas, tanto na produção de bens como na de serviço. Conforme vimos na seção anterior, o custo de uma empresa de transporte é desmembrado em duas classes: Uma fixa e outra variável, conforme a classificação dos insumos numa ou noutra classe. A sua representação gráfica é mostrada na Figura 4.2.

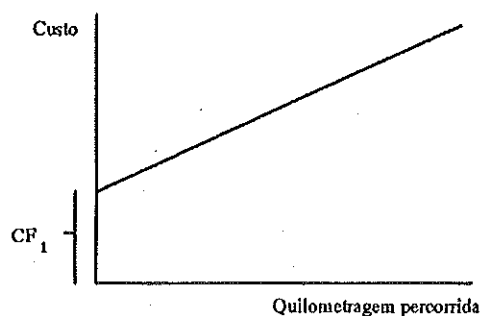


Figura 4.2: Função custo de uma variável.

A função custo é do tipo

$$C(Q) = CF_1 + a_1 \cdot Q \quad (4.1)$$

onde:

$C(Q)$  - custo total da empresa num dado período de tempo;

$CF_1$  - custo fixo da empresa nesse período de tempo;

$a_1$  - custo por unidade representativa da oferta;

$Q$  - quantidade de oferta durante esse período.

O custo médio por unidade ofertada nesse período é de:

$$Cme = CF_1/Q + a_1 \quad (4.2)$$

Segundo essa função custo médio, sempre haverá economia de escala, ou seja, quanto maior for o transporte produzido nesse período, menor será o custo médio. Também o custo marginal é uma constante e igual a  $a_1$ . Nenhum desses casos reflete satisfatoriamente a realidade. Tratando-se de função custo de uma variável, a unidade que melhor representa o custo varia de caso para caso. Se nos referíssemos à construção ou manutenção de vias, a unidade de oferta mais adequada seria o quilômetro: quilômetros de ferrovia; quilômetros de hidrovia; quilômetros de pista, quando o tipo de pista estiver especificado, ou quilômetros de faixa de tráfego, quando se tratar de pista genérica com  $n$  faixas de tráfego; etc. A unidade de oferta que melhor expressa o custo de veículos é o quilômetro de transporte. No caso de terminais, a unidade poderia ser metro quadrado de construção.

#### 4.3.3.2. Função custo de duas variáveis

O custo de produção de transporte pode ser melhor representado usando duas variáveis, sendo que a escolha das variáveis depende essencialmente do componente (vias, veículos,

terminais) e da influência que as variáveis têm sobre o custo. Por exemplo, o custo de manutenção de rodovias com pavimento asfáltico depende muito do volume de tráfego, da quantidade de caminhões com excesso de carga em relação à capacidade de carga do pavimento, e também do índice de precipitação pluviométrica. O custo de implantação de uma ferrovia depende basicamente da topografia e da velocidade de projeto, uma vez que para cada tipo de relevo o custo pode ser traduzido em termos de custo por quilômetro, onde estariam incluídos o tipo de materiais utilizados, a qualidade geotécnica do solo, e custo de desapropriação, e assim por diante. Os custos de implantação de vias podem ser representados em função do tipo de relevo e do comprimento.

No caso de operação de transporte, as variáveis podem ser: uma, que depende da duração da operação de veículos, e a outra que depende da quilometragem rodada. A vantagem de se utilizar essas duas variáveis pode ser mostrada através de um exemplo: Consideremos duas transportadoras, uma operando numa área congestionada que permite desenvolver uma velocidade média de 20 km/h ao longo de jornada diária de 8 h e a outra transportadora operando numa área sem congestionamento onde é possível desenvolver a velocidade média de 40 km/h ao longo do dia. Note que, para se fazer o mesmo serviço, a primeira transportadora precisaria dobrar o número de veículos e de motoristas em relação à segunda. Apenas os custos que dependem da quilometragem (custos de combustível, pneus, óleo lubrificante, etc.) seriam aproximadamente iguais, uma vez que ambas teriam mais ou menos a mesma quilometragem rodada.

Assim, uma função de duas variáveis permite analisar os impactos, em termos de custos, devidos às modificações nas características operacionais, que podem ter origem na modificação da política operacional das empresas ou em algumas modificações introduzidas no sistema viário pela autoridade local. Com uma função custo assim definida pode-se estimar com maior precisão os custos de transporte em diferentes cenários. Matematicamente a função custo pode ser escrita conforme mostra a Equação (4.3). A sua representação gráfica é mostrada na Figura 4.2.

$$C(Q, H) = CF_2 + a_2 \cdot Q + b \cdot H \quad (4.3)$$

onde:

$C(Q, H)$  custo total da empresa num dado período de tempo

$CF_2$  custo fixo da empresa no período

$a_2$  custo dos insumos que dependem da rodagem durante o período (Cr\$/km)

$b_2$  custo dos insumos que dependem do tempo de operação dos veículos (Cr\$/h)

$Q$  quilometragem percorrida por veículos no período (km)

$H$  horas de veículos em operação (h)

O custo médio por quilômetro ( $CMe$ ) é obtido dividindo-se a Equação (4.3) pela quilometragem percorrida,  $Q$ .

$$CMe_q = CF_1 + a_2 + b_2/(Q/H) \quad (4.4)$$

A Equação (4.4) mostra que quanto maior for a produtividade da empresa ( $Q/H$ ), menor é o seu custo médio.

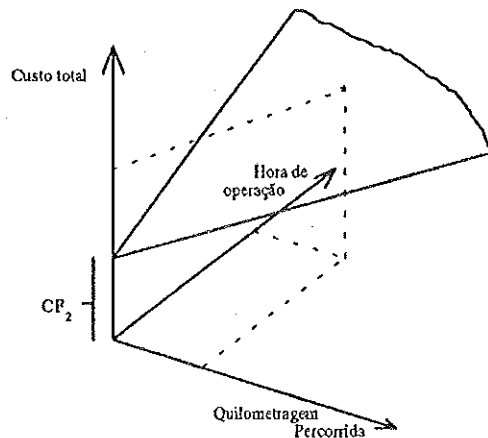


Figura 4.3: função custo de duas variáveis

#### 4.3.3.3. Função custo de três ou mais variáveis

Quando uma empresa de transportes é responsável pela operação de transporte, além de responder pela implantação, manutenção e conservação da via (é o caso da maioria das redes ferroviárias nacionais, empresas de transporte público de passageiros por tróleibus que cuidam da rede elétrica aérea, usinas de açúcar e álcool em relação a suas estradas particulares que dão acesso à plantação de cana de açúcar, etc.), é desejável que se utilizem pelo menos três variáveis: 1) distância percorrida pela frota; 2) tempo de operação da frota; e 3) comprimento da via, no caso de ferrovia, ou comprimento das rotas no caso de tróleibus.

### 4.4. Custos de uma empresa de transporte

O recurso humano e o capital constituem os principais insumos do setor de transportes, assim como de outros setores de atividades econômicas. No entanto, esta não é a classificação mais adequada, pois conforme vimos anteriormente, esta divisão não permite a avaliação correta da produtividade dos componentes desses dois grupos. Mas, inicialmente, vamos discutir a natureza e a função do recurso humano, aqui chamado também de mão de obra, e do capital.

#### 4.4.1. Mão de obra

A mão de obra é contratada para diferentes finalidades tais como: operação, manutenção e reparos, fiscalização, administração e limpeza, etc. A quantidade de mão de obra empregada para operação de veículos é proporcional à quantidade de horas de veículos em operação por unidade de tempo, já que cada hora de veículo requer uma hora de motorista e de cobrador (quando for o caso). O número de fiscais também pode variar com o número de veículos em operação por unidade de tempo, ou pode ser proporcional ao número de veículos da empresa. Quanto à manutenção e reparos, devemos distinguir duas classes: a) manutenção e reparo dos veículos, que geralmente dependem da quilometragem rodada; e b) manutenção e reparo dos edifícios, instalações e equipamentos, que dependem das dimensões da oficina, garagem, etc., que por sua vez dependem do número de veículos na frota. Também a mão de obra requerida pela administração é função da dimensão da empresa, e portanto do número de veículos na frota.

#### 4.4.2 Capital

O capital de uma empresa de transporte é formado pelos mais variados componentes. Existem insumos de capital que são consumidos no ato da produção de transporte, como por exemplo o combustível. No outro extremo estão os terrenos que podem ser considerados bens permanentes. Entre esses dois extremos situam-se pneus e câmaras, peças e acessórios, veículos, equipamentos de apoio, edifícios, etc. A todos esses insumos de capital costuma-se associar os custos de utilização ou de consumo no processo de produção. Por vias de regra, esses custos são contabilizados no final do ano contábil, supondo-se que os custos estejam concentrados nesta data. Tal procedimento permite agrupar os insumos de capital em duas classes: materiais de consumo, quando o seu ciclo de abastecimento ou de substituição for inferior ao período de um ano; e ativos ou capital fixo, quando o ciclo de substituição for superior a um ano.

Os materiais de consumo são adquiridos e consumidos a curto prazo. O desembolso é realizado no ato da compra, e a recuperação do dinheiro é feita ao prestar o serviço e receber por ele, em cujo preço está incluso o custo daqueles insumos. Este capital é novamente destinado à compra de mais insumos para um novo ciclo no processo de produção.

##### 4.4.2.1 Depreciação

Também no caso de ativos fixos é possível fazer uma analogia com os materiais de consumo e determinar a parcela anualmente "consumida". Essa parcela corresponde à depreciação anual do ativo. A carga de depreciação alocada ao custo, e depois recuperada na venda do serviço, não será exigida senão a longo prazo, para a substituição do ativo fixo quando isto se fizer necessário. Esses recursos, disponíveis por longo prazo, são normalmente reinvestidos, em geral nas próprias operações da empresa, para fazer frente às suas necessidades.

Agora que já temos uma idéia do que seja a depreciação, vamos defini-la melhor. A depreciação é a desvalorização que um objeto sofre em virtude do uso, da ação do tempo ou da obsolescência. Todo o bem depreciável possui utilidade potencial total no início. Esse potencial decresce com o uso até ser retirado do processo produtivo, quando termina sua vida útil. A utilidade potencial pode ser medida através de unidades como tempo de funcionamento, quilometragem percorrida, etc., sendo a primeira a mais freqüentemente utilizada. Na realidade, a questão da depreciação é mais complexa, pois ela deve refletir as reduções no fluxo de serviços prestados pelos ativos fixos ocasionadas pelo aumento na freqüência com que ocorrem as paradas, quebras, etc.

Outro problema relacionado à depreciação é a forma como um bem vai perdendo valor ao longo do tempo. Na verdade, a forma varia de item para item. Por essa razão, os ativos são divididos em classes, de acordo com a forma de depreciação. No caso de edifícios, por exemplo, supõe-se que a depreciação seja linear, uma vez que sua idade não influi significativamente no fluxo de serviço, o que não ocorre com os veículos e outros equipamentos que necessitam de manutenção cada vez mais freqüente, à medida que se aproxima o fim de sua vida útil, interrompendo mais freqüentemente o fluxo de serviço. Evidentemente o mercado leva em conta tal fator. Entre os métodos de depreciação existem os que são aplicáveis aos ativos que depreciam linearmente com a idade e àqueles cuja depreciação varia ao longo do tempo. A seguir serão apresentados os métodos de depreciação mais usados nos problemas de transportes.

##### a) Método de percentagem fixa sobre o valor inicial

É um método que considera a depreciação constante ao longo da vida útil. É o método mais utilizado, principalmente pela sua simplicidade. O valor depreciável, que é a diferença entre o valor inicial e o residual, é dividido pela vida útil (em anos). O resultado é denominado

depreciação anual. O valor do ativo de  $t$  anos de idade é calculado conforme mostra a Equação (4.5):

$$V_T = \frac{VDE}{VUT}(VUT - T) + VRE \quad (4.5)$$

onde:  $V_T$  - valor restante do ativo com  $T$  anos de uso;  
 $VDE$  - valor depreciável ( $VDE = VIN - VRE$ );  
 $VUT$  - vida útil;  
 $VRE$  - valor residual;  
 $VIN$  - valor inicial;  
 $T$  - idade do ativo depreciável (em anos)

#### b) Método do valor de depreciação anual aritmeticamente decrescente

A idéia básica do método é de que o valor da depreciação diminui em progressão aritmética com a idade do ativo. Assim, sendo  $VUT$  a vida útil do ativo, a depreciação será de  $k$  no último ano,  $2k$  no penúltimo ano,  $3k$  no antepenúltimo ano, ..., e de  $VUT \cdot k$  no primeiro ano. A somatória de todas as depreciações anuais é o valor depreciável. Assim:

$$VDE = k(1+VUT)VUT/2 \Rightarrow k = \frac{2 \cdot VDE}{(1+VUT) \cdot VUT}$$

A depreciação anual de um ativo com idade entre  $T$  anos e  $T+1$  anos é de  $(VUT-T) \cdot k$ , e o valor de depreciação acumulada em  $T$  anos é de  $(2VUT + 1 - T)T/2$ . Finalmente, o valor do bem com  $T$  anos de idade é dada pela Equação (4.6).

$$V_T = VIN - (2VUT + 1 - T)T \frac{VDE}{(1+VUT) \cdot VUT}$$

onde:  $V_T$  - valor restante do ativo com  $T$  anos de uso;  
 $VDE$  - valor depreciável ( $VDE = VIN - VRE$ );  
 $VUT$  - vida útil;  
 $VRE$  - valor residual;  
 $VIN$  - valor inicial;  
 $T$  - idade do ativo depreciável (em anos)

Esta é a sistemática recomendada pelo MT-GEIPOT-EBTU para o cálculo da depreciação em "Instruções Práticas para o Cálculo de Tarifas de Ônibus Urbano" de 1982.

#### c) Método de percentagem fixa sobre o valor dos livros

Este método consiste na aplicação de uma porcentagem fixa sobre o saldo das contas das imobilizações. Como a base de cálculo é o saldo da conta, o processo não tem limite matemático, pois haverá sempre um resíduo suscetível de novas reduções. Na prática, há um limite em que é aconselhável suspender as depreciações. Sendo o valor inicial  $VIN$  e a vida útil

VUT, no fim deste o valor do ativo será reduzido a valor residual VRE. O valor do ativo com T anos de idade será de:

$$V_T = VIN \left( \frac{VRE}{VIN} \right)^{\frac{T}{VUT}} \quad (4.6)$$

O método (a) é normalmente utilizado para estimar o valor de depreciação anual de edifícios, enquanto (b) e (c) são mais aplicados aos veículos. Entre (b) e (c), muitos preferem o primeiro, por duas razões. A primeira, porque o método (c) apresenta quotas de depreciação muito elevadas no início e muito baixas no fim da vida útil. A segunda, porque o método (b) consegue representar com maior precisão o valor de mercado dos veículos usados.

#### 4.4.2.2. Remuneração do capital

Em se tratando de capital fixo, parece razoável considerar, além da depreciação, a remuneração do capital investido. É um assunto muito debatido entre as correntes a favor e contra a inclusão deste ítem no custo de uma empresa. A ciência contábil não considera a remuneração do capital um custo. Apenas afirma que dados os riscos gerais do negócio, a remuneração do capital deve ser coberto pelos lucros comerciais. A renda que os contadores denominam "lucro líquido" é dividida pelos economistas em duas classes: a primeira representa o poder de ganho do capital investido com um mínimo de risco, enquanto a outra representa o adicional necessário como compensação pelo risco de perder o capital investido. A parte do lucro que representa a renda proveniente do emprego do capital investido sem risco é o que se denomina juro sobre investimento.

Conclui-se daí que certa taxa de compensação é inerente ao capital sob condições seguras de investimento, e que qualquer parcela acima dessa taxa de compensação não ganha o capital mas o investidor pelo risco de perder. Essa parcela pode ainda ser interpretada como sendo o custo de aquisição de capital ou custo financeiro correspondente. Do ponto de vista econômico, é consenso que o juro deve ser considerado. Também sob a ótica da contabilidade, as opiniões são unânimes quanto à sua inclusão no preço, apenas divergindo quanto ao tratamento como custo. No setor de transporte em especial este ítem tem sido tratado como custo.

Este custo é obtido a partir da determinação do estoque de capital, que é a somatória de todos os ativos fixos já parcialmente depreciados conforme suas idades. A esse estoque de capital é multiplicada uma taxa de oportunidade (de ganhar sem correr risco) do capital, obtendo-se o custo correspondente a remuneração do capital.

Todos esses custos serão analisados em maior detalhe no ítem Custos Operacionais da próxima seção.

### 4.5. Estimativas de custos

Sempre que se fala em planejamento de transporte ou avaliação de projetos alternativos de transporte, está implícita a estimativa de custo. É que planejamento se faz para o futuro, e os custos de insumos mudam ao longo do tempo mesmo nos países tidos como exemplos de estabilidade econômica. Mesmo que os preços unitários dos insumos não mudassem, ainda assim seria extremamente difícil prever o custo futuro pelo simples fato de que a precisa quantificação de todos os insumos é uma tarefa praticamente impossível na fase de planejamento. Ao planejar a construção de uma estrada, por exemplo, geralmente se faz sondagem para o reconhecimento do solo. Como as sondagens são feitas apenas em alguns pontos do traçado, podem surgir surpresas na etapa de construção. É possível que em alguns trechos o subleito tenha resistência



muito maior ou muito menor do que a admitida no projeto. Da mesma forma, pode haver um desequilíbrio maior do que o previsto entre os volumes de corte e de aterro por causa do uso de um fator de empolamento diferente do real, o que implica em maior volume de bota-fora ou de empréstimo que encarecem a obra. Todos esses problemas poderiam ser evitados fazendo maior número de sondagens, o que entretanto encareceria sobremaneira o estudo e o planejamento da estrada. Assim, o número de sondagens e ensaios para cada caso é definido em função do custo da sondagem e ensaios e do risco de se ter eventuais surpresas.

Embora tenhamos aqui ilustrado a dificuldade de determinação do custo futuro com problemas de uma área específica, isso pode ser generalizado para outras áreas. Podemos concluir dizendo que, em se tratando de planejamento, o que se faz em matéria de custo é estimá-lo.

Basicamente existem dois enfoques para se estimar custos, que em muitas situações são usados conjuntamente. Um deles é o método do custo unitário em que se começa estimando a quantidade de insumos necessários para ofertar um determinado serviço de transporte, e posteriormente atribui-se o preço unitário a cada ítem dos insumos. O outro enfoque é o de modelos estatísticos em que se procura relacionar o custo de um determinado insumo com o volume de serviço ofertado.

#### 4.5.1. Modelos estatísticos

Modelos estatísticos são construídos com o auxílio de dados sobre os custos do sistema de transportes realmente incorridos. O procedimento usual é inicialmente especificar uma relação matemática que represente razoavelmente bem a relação entre custo e volume de serviço ofertado; em seguida, determina-se os parâmetros da função especificada usando algum método de regressão estatística como a regressão linear ou não-linear. É um procedimento semelhante aos vistos no capítulo 3, Demanda por Transportes. Este procedimento usa alguma medida que forneça o grau de ajuste da expressão aos dados utilizados na calibração. Admite-se, implicitamente, que quanto maior for esse ajuste, maior será a precisão com que ela poderá estimar os custos futuros em função da quantidade de serviço a ser ofertado.

Geralmente este procedimento é utilizado para estimar o custo de alguns ítems para os quais o desenvolvimento de um modelo de custos unitários seja muito difícil por causa da grande variedade de insumos envolvidos ou por causa da incerteza na quantidade de insumo requerido. Um dos cuidados que se deve tomar ao aplicar este método é verificar se os dados disponíveis são referentes à mesma tecnologia, e principalmente se ela é idêntica à que será empregada no projeto em questão.

Como exemplo de modelos estatísticos, apresentaremos abaixo um modelo estimado para a estimativa de gastos com peças e acessórios em empresas de transporte público de passageiros. Trata-se da parcela de custo que apresenta a maior dificuldade na sua determinação a partir de elementos observados, tendo em vista a diversidade de ítems e de critérios de manutenção utilizados pelas empresas operadoras. Através da técnica de regressão linear aplicada aos dados constantes da tabela abaixo, Gonçalves (1979) determinou o seguinte modelo no seu trabalho de dissertação de mestrado intitulado "A tarifação do transporte coletivo de passageiros por ônibus na Região Metropolitana da Grande São Paulo".

$$C_{PA} = 5,4 \times N \quad \text{com } (R^2 = 0,890)$$

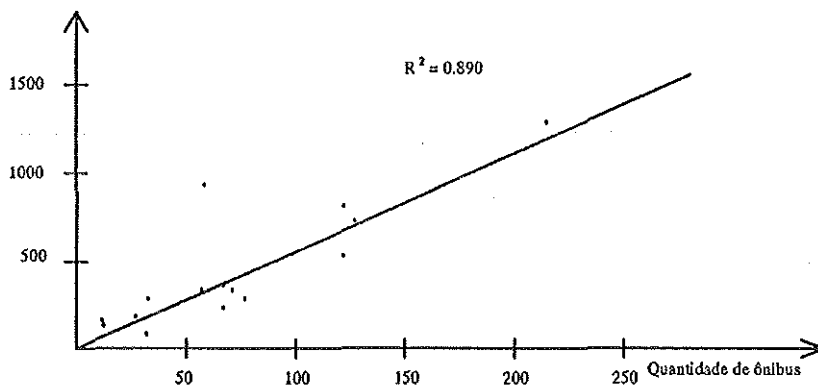
onde: CPA - Custos mensais de peças e acessórios;

N - número de veículos da frota da empresa.

| Empresa                                   | Veículos em operação | Despesa mensal (Cr\$ 1.000,00) |
|---|----------------------|--------------------------------|
| Auto Viação Triângulo Ltda                | 70                   | 323                            |
| Transportadora Utinga Ltda                | 30                   | 264                            |
| Transporte Coletivo Praça das Nações Ltda | 10                   | 88                             |
| Auto Viação Urubupungá Ltda               | 119                  | 827                            |
| Viação Osasco Ltda                        | 152                  | 721                            |
| Expresso Santa Rita Ltda                  | 57                   | 914                            |
| Empresa de ônibus Guarulho S/A            | 212                  | 1251                           |
| Viação Suzano Ltda                        | 12                   | 150                            |
| Viação Monte Alegre Ltda                  | 30                   | 84                             |
| Viação da Serra Ltda                      | 12                   | 55                             |
| Viação Santo Ignácio Ltda                 | 42                   | não forneceu                   |
| Auto ônibus Soamim Ltda                   | 63                   | 238                            |
| Viação Tupã Ltda                          | 73                   | 275                            |
| Viação Diadema Ltda                       | 119                  | 526                            |
| Viação Francorochense Ltda                | 28                   | 179                            |
| Transportadora Turística Benfica Ltda     | 53                   | 288                            |
| Empresa de ônibus Vila Galvão Ltda        | 66                   | 359                            |

Fonte: Gonçalves (1979)

Despesas com peças e acessórios



#### 4.5.2. Método dos custos unitários

Neste método, a tecnologia é explicitamente considerada. Na primeira etapa determina-se a quantidade de cada insumo que será empregado na oferta, seja de vias, terminais ou veículos. Este método é de longe o mais utilizado. A principal razão é que ele fornece valores bastante reais. Na prática, as firmas de consultoria ou de construção orçam o custo de obras quase que exclusivamente com base neste método. O método começa com a quantificação de cada ítem de serviços necessários para ofertar ou modificar determinados componentes do sistema de transporte. Em seguida, atribuem-se aos ítems os preços unitários praticados no mercado.

A seguir vamos ilustrar o método usando como exemplo os custos de uma das alternativas analisadas em "Estudo de Sistema Ferroviário Privado para o Centro-Oeste", elaborado pela Ferronorte S.A, em 1988. A alternativa ilustrada é a alternativa Cuiabá-Uberlândia. O caso rodoviário será ilustrado com a Rodovia do sol, um estudo elaborado pela THEMAG. É importante lembrar que o valor da obra, por unidade de distância, depende do relevo, do tipo de solo, da velocidade de projeto, da tecnologia, etc, e que, portanto, o custo por quilômetro varia de trecho para trecho.

#### 4.5.2.1. Estimativa do custo de implantação

##### a) Ferrovia

##### • Quantificação da infra-estrutura

O estudo trata detalhadamente de todos os itens que constituem o custo de implantação da infra-estrutura ferroviária: obras de arte especiais, drenagem, obras complementares e desapropriação. A título de exemplo, apresentamos abaixo as quantidades de obras de arte especiais, isto é, pontes e pontilhões, viadutos e túneis.

##### - Necessidade de pontes e pontilhões

| Trechos                 | Extensão dos vãos (m) |     |      |      |     |     |     |     |     |     |      |      | Total |
|-------------------------|-----------------------|-----|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|-------|
|                         | Até                   | 25  | 40   | 60   | 80  | 100 | 120 | 140 | 200 | 250 | 400  | 600  |       |
| Itumbiara - Uberlândia  | 1                     | 1   | 1    | 1    | --  | --  | --  | 2   | --  | --  | 1    | --   | 7     |
| Riverlândia - Itumbiara | 3                     | 2   | 2    | 2    | 2   | --  | --  | 1   | --  | 1   | 1    | --   | 14    |
| Jataí - Riverlândia     | 1                     | 2   | 6    | 8    | 2   | --  | 1   | --  | --  | --  | 1    | --   | 21    |
| Alto Araguaia - Jataí   | 2                     | 1   | 4    | 1    | 2   | 1   | 1   | --  | --  | 1   | --   | 1    | 14    |
| Anhumas - Alto Araguaia | 1                     | 2   | 1    | 2    | --  | --  | --  | --  | --  | --  | 1    | --   | 6     |
| Cuiabá - Anhumas        | 23                    | 7   | 5    | 2    | --  | 1   | --  | --  | 1   | --  | --   | --   | 39    |
| Total                   | 31                    | 15  | 19   | 16   | 6   | 2   | 2   | 3   | 1   | 2   | 4    | 1    | 102   |
| Extensão (m)            | 775                   | 600 | 1140 | 1280 | 600 | 240 | 280 | 600 | 250 | 800 | 2400 | 2000 | 10965 |

##### - Necessidade de viadutos

| Trecho                  | Quantidade | Extensão (m) |
|-------------------------|------------|--------------|
| Anhumas - Alto Araguaia | 1          | 900          |
| Itumbiara - Uberlândia  | 2          | 3.000        |
| Total                   | 3          | 3.900        |

##### - Necessidade de túneis

| Trecho                  | Quantidade | Extensão (m) |
|-------------------------|------------|--------------|
| Cujabá - Anhumas        | 1          | 750          |
| Riverlândia - Itumbiara | 2          | 6.100        |
| Total                   | 3          | 6.850        |

A partir da quantidade de cada item e do preço unitário, foi elaborada a tabela abaixo. Visto que o nosso intuito é apenas apresentar o método, vários sub-itens da drenagem foram omitidos. Os interessados podem procurar a cópia do "Estudo de Sistema Ferroviário Privado para Centro-Oeste" na biblioteca do Departamento de Transportes da EESC-USP.

|  |              |                        | TRECHOS  |   |   |   |   |  |                                       |
|--|--------------|------------------------|--|---|---|---|---|--|---------------------------------------|
|  | unid         | Preço unitário<br>Cz\$ | Itumbiara<br>Uberlândia<br>(Cz\$ x 10 <sup>3</sup> ) | Riverlândia<br>Itumbiara<br>(Cz\$ x 10 <sup>3</sup> ) | Jataí<br>Riverlândia<br>(Cz\$ x 10 <sup>3</sup> ) | A. Araguaia<br>Jataí<br>(Cz\$ x 10 <sup>3</sup> ) | Anhumas<br>A. Araguaia<br>(Cz\$ x 10 <sup>3</sup> ) | Cuiabá<br>Anhumas<br>(Cz\$ x 10 <sup>3</sup> ) | Ferrovia<br>(Cz\$ x 10 <sup>3</sup> ) |
| <b>1. Obras de arte especiais</b>            |              |                        |  |   |   |   |   |  |                                       |
| 1.1. Pontes e pontilhões                     | m<br>(Cz\$)  | 1.886.790              | 1.205<br>(2.273.582)                                 | 1.835<br>(3.462.260)                                  | 2.045<br>(3.858.486)                              | 3.270<br>(6.169.803)                              | 925<br>(1.745.281)                                  | 1.685<br>(3.179.241)                           | 10.965<br>(20.688.652)                |
| 1.2. Viadutos                                | m<br>(Cz\$)  | 1.224.520              | 3.000<br>(3.673.560)                                 |   |   |   | 925<br>(1.102.068)                                  |  | 43.900<br>(4.775.628)                 |
| 1.3. Túneis                                  | m<br>(Cz\$)  | 2.026.740              |  | 6.100<br>(12.363.114)                                 |   |   |   | 750<br>(1.520.055)                             | 6.850<br>(13.883.160)                 |
| <b>2. Terreplagem</b>                        |              |                        |  |   |   |   |   |  |                                       |
| 2.1. Escavação - mat. de 1a.<br>DMT = 50 dam | m3<br>(Cz\$) | 142                    | 3.730.000<br>(529.660)                               | 3.930.000<br>(558.060)                                | 6.947.000<br>(986.474)                            | 9.010.000<br>(1.279.420)                          | 7.036.000<br>(999.112)                              | 6.600.000<br>(937.200)                         | 37.253.000<br>(5.289.926)             |
| 2.2. Escavação - mat. de 2a.<br>DMT = 50 dam | m3<br>(Cz\$) | 285                    | 1.435.000<br>(408.975)                               | 1.512.000<br>(430.920)                                | 2.672.000<br>(761.520)                            | 3.465.000<br>(987.525)                            | 2.706.000<br>(771.210)                              | 2.538.000<br>(723.330)                         | 14.328.000<br>(4.083.480)             |
| 2.3. Escavação - mat. de 3a.<br>DMT = 50 dam | m3<br>(Cz\$) | 824                    | 574.000<br>(472.976)                                 | 605.000<br>(498.520)                                  | 1.069.000<br>(880.856)                            | 1.386.000<br>(1.142.064)                          | 1.086.000<br>(892.392)                              | 1.015.000<br>(836.360)                         | 5.732.000<br>(4.723.168)              |
| 2.4. Compactação de aterros                  | m3<br>(Cz\$) | 61                     |  |   |   |   |   |  |                                       |
| 2.5. Desmatamento e limpeza                  | m3<br>(Cz\$) | 12                     |  |   |   |   |   |  |                                       |
| <b>3. Bueiros tubulares</b>                  |              |                        |  |   |   |   |   |  |                                       |
| 3.1. Simples $\phi$ 1,20 m                   | m<br>(Cz\$)  | 16.172                 | 83<br>(1.342)  | 18<br>(291)   | 188<br>(3.040)                                    | 133<br>(2.151)                                    | 152<br>(2.458)                                      | 15<br>(243)                                    | 589<br>(9.525)                        |
| 3.2. Simples $\phi$ 1,50 m                   | m<br>(Cz\$)  | 21.912                 | 288<br>(6.311)                                       | 205<br>(4.492)  | 505<br>(11.066)                                   | 335<br>(7.341)                                    | 394<br>(8.633)                                      | 85<br>(1.863)                                  | 1812<br>(39.705)                      |
| 3.3. Duplo $\phi$ 1,20 m                     | m<br>(Cz\$)  | 38.172                 | 50<br>(1.909)  | 58<br>(2.214)   | 15<br>(573)                                       | 35<br>(1.336)                                     | 175<br>(6.680)                                      | 37<br>(1.412)                                  | 370<br>(14.124)                       |
| 3.4. Duplo $\phi$ 1,50 m                     | m<br>(Cz\$)  | 51.824                 | 487<br>(25.238)                                      | 360<br>(18.657)                                       | 651<br>(33.737)                                   | 284<br>(14.718)                                   | 586<br>(30.369)                                     | 966<br>(50.062)                                | 3.334<br>(172.781)                    |
| 3.5. Triplo $\phi$ 1,50 m                    | m<br>(Cz\$)  | 76.129                 | 588<br>(44.764)                                      | 439<br>(33.421)                                       | 768<br>(58.467)                                   | 240<br>(18.271)                                   | 525<br>(39.968)                                     | 135<br>(10.277)                                | 2.695<br>(205.168)                    |
| 3.6. Galeria simples L=2,60m                 | m<br>(Cz\$)  | 54.260                 | -  | -   | -   | -   | 100<br>(5.426)                                      | 83<br>(4.504)                                  | 183<br>(9.930)                        |
| L=2,70m                                      | m<br>(Cz\$)  | 56.258                 | 80<br>(4.501)  | 50<br>(2.813)   | 273<br>(15.358)                                   | 171<br>(9.620)                                    | 331<br>(18.621)                                     | 283<br>(15.921)                                | 1188<br>(66.835)                      |
| Etc.   |              |                        |  |   |   |   |   |  |                                       |
| Etc.   |              |                        |  |   |   |   |   |  |                                       |
| <b>4. Obras complementares</b>               |              |                        |  |   |   |   |   |  |                                       |
| 4.1. Proteção vegetal talude                 | m3<br>(Cz\$) | 141                    |  |   |   |   |   |  | 12.966.675<br>(1.828.301)             |
| 4.2. Cerca de arame                          | m<br>(Cz\$)  | 1.210                  |  |   |   |   |   |  | 2.430.000<br>(2.940.300)              |
| <b>5. Desapropriação</b>                     |              |                        |  |   |   |   |   |  |                                       |
|  | m2<br>(Cz\$) | 15                     |  |   |   |   |   |  | 72.850.800<br>(1.092.762)             |

Obs: Em janeiro de 1988 o câmbio comercial era de aproximadamente 84,85 Cz\$/US\$

- Superestrutura

Os 1.215,2 km que separam Cuiabá de Uberlândia serão dotados de trilhos de bitola larga (1,60 m). Segundo a Ferronorte S.A., os custos unitários dos diversos itens da superestrutura, referentes a janeiro de 1988, foram obtidos junto à RFFSA, FEPASA e fornecedores.

| Discriminação   | Unidade        | Custo unitário (Cz\$) | Quantidades por km | Custo/km (Cz\$/km) |
|---|----------------|-----------------------|--------------------|--------------------|
| <b>Materiais</b>  |                |                       |                    |                    |
| Pedra britada para lastro (1,7 m <sup>3</sup> /m)       | m <sup>3</sup> | 3.140                 | 1.700              | 5.338              |
| Dormentes (bitola larga)                                | unid           | 3.332                 | 1.819              | 6.061              |
| Trilhos   | t              | 41.377                | 115                | 4.758              |
| Placas de apoio, fixação elástica, tirefond 2 x 1819 cj | cj             | 1.616                 | 3.638              | 5.879              |
| <b>Serviços</b>   |                |                       |                    |                    |
| Implantação da via permanente                           | km             | 5.263.000             |                    | 5.263              |
| <b>Custo Total por km</b>                               |                |                       |                    | <b>27.299</b>      |

Obs: Em janeiro de 1988 o câmbio comercial era de aproximadamente 84,85 Cz\$/US\$

## Resumo do orçamento

| Serviços                           | Custo (Cz\$ 10 <sup>3</sup> ) | Custo (US\$)            |
|------------------------------------|-------------------------------|-------------------------|
| <b>Infra-estrutura</b>             |                               |                         |
| Obras de arte especiais            | 39.347.449,00                 | 463.729.510,00          |
| Terraplenagem                      | 17.843.386,00                 | 215.293.290,00          |
| Drenagem e obras de arte correntes | 1.598.180,00                  | 18.835.357,00           |
| Obras complementares               | 4.768.601,00                  | 56.200.365,00           |
| Desapropriação                     | 1.092.760,00                  | 12.878.727,00           |
| <b>Superestrutura</b>              | <b>33.174.000,00</b>          | <b>390.972.300,00</b>   |
| <b>Total</b>                       | <b>97.824.376,00</b>          | <b>1.152.909.600,00</b> |

## Outro exemplo: Ferrovia Norte-Sul

Este exemplo tem como finalidade apresentar aos leitores o resumo dos custos estimados para uma outra ferrovia, cujo estudo foi realizado aproximadamente na mesma época, para efeito de comparação. Os custos da Ferrovia Norte-Sul foram estimados de maneira semelhante à da Ferronorte S.A. Essa ferrovia foi projetada com 1.571 km de via principal, e o cronograma da construção previa sua conclusão em 5 anos. Durante esse período, o investimento na via permanente totalizaria 2,44 bilhões de dólares com a seguinte distribuição:

| Ítems  | Custo (US\$ 10 <sup>6</sup> ) |
|--|-------------------------------|
| • Engenharia, fiscalização e gerenciamento   | 145                           |
| • Aquisição de terras                        | 25                            |
| • Telecomunicações e controle                | 57                            |
| • Superestrutura                             | 530                           |
| • Infra-estrutura (inclusive pontes > 250 m) | 1.485                         |
| • Terminais e pátios                         | 41                            |
| • Administração                              | 74                            |
| • Contingências                              | 83                            |
| <b>Total</b>                                 | <b>2.440</b>                  |

Fonte: Ferrovia Norte-Sul - Estudo de Viabilidade Econômica

*b) Rodovia*

Em 1989 uma firma de consultoria apresentou à DERSA (Desenvolvimento Rodoviário S.A.) um estudo de viabilidade econômica da construção de um novo acesso ao Litoral Norte do Estado de São Paulo ao Porto de São Sebastião. A rodovia deveria obedecer às seguintes condições e traçado: a) Interligar a Via Dutra com a Rodovia dos Trabalhadores; b) adequar os acessos a São Sebastião e Caraguatatuba; c) minimizar os impactos ambientais; d) apresentar nível de serviço C no ano 2.000; e e) cruzar estradas municipais em desnível. Após analisar sete alternativas, chegou-se a conclusão de que a melhor solução era prolongar a Rodovia Dom Pedro I até São Sebastião. Essa rodovia projetada recebeu preliminarmente o nome de Rodovia do Sol. Vejamos o custo de implantação estimado para esta rodovia, o qual varia de trecho para trecho em função de inúmeras variáveis que interferem num projeto de rodovia. As características de cada trecho bem como as obras necessárias e os custos correspondentes estão apresentados na Tabela abaixo.

| Trecho                      | Região     | Obra  | Extensão<br>km | Custo km<br>US\$ 10 <sup>6</sup> | Total<br>US\$ 10 <sup>6</sup> |
|-----------------------------|------------|---|----------------|----------------------------------|-------------------------------|
| Rodovia dos Trabalhadores   | Ondulada   | Implantação de pista dupla<br>viadutos  | 12,7           | 3,35                             | 42,54                         |
|                             |            |   | 0,3            | 15,40                            | 4,62                          |
| Jacareí / Salesópolis       | Ondulada   | Implantação de pista dupla<br>Viadutos (pista dupla)  | 31,0           | 3,35                             | 103,85                        |
|                             |            |   | 1,1            | 15,40                            | 16,94                         |
| Salesópolis / BR-101        | Montanhosa | Implantação de pista dupla<br>Viadutos<br>Túneis  | 45,1           | 3,90                             | 175,89                        |
|                             |            |   | 2,4            | 15,40                            | 36,96                         |
|                             |            |   | 1,5            | 20,20                            | 30,30                         |
| BR-101 (cota 500 / cota 10) | Montanhosa | Implantação de pista dupla (parcial)<br>Viadutos (pista dupla)  | 10,4           | 1,56                             | 16,22                         |
|                             |            |   | 1,6            | 15,40                            | 24,64                         |
| Cota 10 / Porto Novo        | Plana      | Implantação de pista dupla  | 5,0            | 1,50                             | 7,50                          |
| Porto Novo / São Sebastião  | Montanhosa | Melhoramento da pista existente<br>Duplicação (pista simples)<br>Viadutos (pista simples)<br>Túneis (pista simples) | 12,0           | 0,50                             | 6,00                          |
|                             |            |   | 9,2            | 2,65                             | 21,38                         |
|                             |            |   | 0,6            | 8,70                             | 5,22                          |
|                             |            |   | 2,2            | 10,10                            | 22,22                         |
|                             | Plana      | Melhoramento da pista existente<br>Duplicação (pista simples)   | 3,5            | 0,50                             | 1,75                          |
|                             |            |   | 3,5            | 1,16                             | 4,06                          |
| Porto Novo / Caraguatatuba  | Plana      | Implantação de pista dupla  | 10,0           | 1,50                             | 15,00                         |
| Contorno de Caraguatatuba   | Ondulada   | Implantação de pista dupla<br>Viadutos  | 5,1            | 3,35                             | 17,80                         |
|                             |            |   | 0,6            | 15,40                            | 9,21                          |
| <b>Total</b>                |            |   |                |                                  | <b>564,41</b>                 |

**4.5.2.2. Estimativa do custo de conservação e manutenção da via***a) Ferrovia*

A manutenção da via permanente tem como principal motivo o desgaste dos trilhos. Por esta razão, estima-se antes de mais nada a vida útil dos trilhos, associadas à densidade de tráfego em determinado trecho. A substituição dos demais componentes estão associados à troca de trilhos, que geralmente começa a ocorrer a partir da metade da vida útil. Na metodologia da

RFFSA, denominado CDT (custo de transporte), de 1992, esta parcela do custo é composto de seguintes itens:

- Pessoal de conservação da via permanente

$$CPVP = CUVIAP \times TRABC \times TMA / TUT / DOLAR$$

onde: CPVP - custo mensal de pessoal de conservação da via nos trechos percorridos, em mil US\$ / mês;

CUVIAP- custo unitário de pessoal de conservação da via permanente já indexado, em Cr\$/TKBU médio (despesa anual de pessoal de conservação de via / TKBT anual gerada pelo sistema);

TRABC - trabalho bruto completo de um trem, em TKBT/trem;

TMA - transporte mensal do trem, em milhares de toneladas úteis / mes;

TUT - toneladas de cargas úteis de um trem;

DOLAR - dólar médio do mês de referência.

- Material de conservação da via permanente

$$CMVP = CUVIAM \times TRABC \times TMA / TUT / DOLAR$$

onde: CMVP - custo mensal de material de conservação da via nos trechos percorridos, em mil US\$ / mês;

CUVIAM- custo unitário de material de conservação da via permanente já indexado, em Cr\$ / TKBT médio.

- Pessoal de reposição de trilhos

$$CPTR = CUTRLP \times TRABC \times TMA / TUT / DOLAR$$

onde: CPTR - Custo mensal de pessoal de reposição de trilhos nos trechos percorridos, em mil US\$ / mês;

CUTRLP- custo unitário de pessoal de reposição de trilhos, já indexado, em mil Cr\$ / TKBT médio;

- Material de reposição de trilhos

$$CMTR = CUTRLM \times TRABC \times TMA / TUT / DOLAR$$

onde: CMTR - custo mensal de material de reposição de trilhos nos trechos percorridos, em mil US\$ / mês;

CUTRLM- custo unitário de material de reposição de trilhos já indexado, em Cr\$ / TKB médio;

- Pessoal de reposição de dormentes

$$CPDR = CUDRMP \times TRABC \times TMA / TUT / DOLAR$$

onde: CPDR - custo mensal de pessoal de reposição de dormentes nos trechos percorridos, em mil US\$ / mês;

CUDRMP- custo unitário de pessoal para reposição de dormentes já indexados, em Cr\$ / TKBT médio.

- Material de reposição de dormentes

$$\text{CMDR} = \text{CUDRMM} \times \text{TRABC} \times \text{TMA} / \text{TUT} / \text{DOLAR}$$

onde: CMDR - custo mensal de material de reposição de dormentes nos trechos percorridos, em mil US\$ / mês;

CUDRMM-custo unitário de material de reposição de dormentes já indexado, em Cr\$/TKBT médio;

- Pessoal de reposição de lastro

$$\text{CPLS} = \text{CULSTP} \times \text{TRABC} \times \text{TMA} / \text{TUT} / \text{DOLAR}$$

onde: CPLS - custo mensal de pessoal de reposição de lastro nos trechos percorridos, em mil US\$ / mês;

CULSTP- custo unitário de pessoal para reposição de lastro já indexados, em Cr\$ / TKBT médio.

- Material de reposição de lastro

$$\text{CMLS} = \text{CULSTM} \times \text{TRABC} \times \text{TMA} / \text{TUT} / \text{DOLAR}$$

onde: CMLS - custo mensal de material de reposição de lastro nos trechos percorridos, em mil US\$ / mês;

CUDRMM- custo unitário de material de reposição de lastro já indexado, em Cr\$ / TKBT médio;

#### *b) Rodovia*

O custo de conservação e manutenção das rodovias dependem de muitos fatores tais como do índice de precipitação pluviométrica, da sobrecarga nos caminhões, do controle efetuado durante a construção, etc. Assim, é praticamente impossível prever com precisão os custos de conservação e manutenção de uma estrada. Geralmente adota-se um valor aproximado em função do custo passado em estradas de mesma categoria.

O valor adotado pela DERSA é de US\$ 7.320/km/faixa/ano, e o DER-SP geralmente tem adotado nos seus relatórios o valor de US\$ 4.000/km/faixa/ano.

#### **4.5.2.3. Estimativa do custo operacional**

##### *a) Ferrovia*

A estimativa dos custos de transporte ferroviário, segundo a metodologia da RFFSA descrita na Metodologia do C.D.T (custo de transporte), de 1992, é feita com base nos custos unitários variáveis, fixos e totais dos fatores de produção envolvidos no transporte, a saber: (a) equipagem, que representa o pessoal que conduz o trem; (b) combustível e lubrificantes; (c) manutenção de locomotivas, que representa o custo com pessoal, material e serviços de terceiros relativo à manutenção e conservação das locomotivas e vagões alocadas a cada transporte.

- Equipagem

$$\text{CEQL} = \text{ISAL} \times \text{CUEQL} \times (\text{RET} \times \text{TEMPVIA} + \text{TPLO} + \text{TPLD}) \times \text{TMA} / \text{TUT} / \text{DOLAR}$$

onde: CEQL - custo da equipagem em milhares de US\$ / mês;

ISAL - índice de salários para o mês de referência;



|             |  |
|-------------|--|
| CUEQL -     | custo unitário da equipagem em Cr\$ / trem . hora (despesa anual de equipagem /trem . hora anual gerado pelo sistema); |
| RET -       | 1 + (% de retorno vazio)/100;  |
| TPLO, TPLD- | tempo de permanência da loco nos pátios de origem e destino do trem;   |
| TMA -       | transporte mensal do trem, em milhares de toneladas úteis / mês;   |
| TUT -       | toneladas úteis de um trem;  |
| DOLAR -     | dólar médio do mês de referência.  |

- Combustível e lubrificantes

$$CCLL = [\text{CONSTR} \times \text{TRABR} / 1000 + \text{CONSLO} \times \text{NLP1} \times (\text{TPLO} + \text{TPLD}) + \text{CTC} \times \text{NTC} \times \text{TEQ}] \times \text{LUB} \times \text{POD} \times \text{TMA} / \text{TUT} / \text{DOLAR}$$

|              |   |
|--------------|---|
| onde: CCLL - | custo mensal de combustível e lubrificantes, em mil US\$ / mês;   |
| LUB -        | fator de acréscimo para lubrificantes;  |
| POD -        | preço médio do diesel no mês de referência em Cr\$ / l;   |
| CONSTR-      | consumo do trem no percurso, obtido levando-se em consideração a média dos consumos do trem em cada trecho que compõe a rota percorrida em l / 1000TKB; |
| TRABR -      | trabalho bruto rebocado de um trem, em TKBT;  |
| CONSLO-      | consumo da loco do trem no pátio, em l / hora;  |
| NPL1 -       | quantidade de locomotivas principais do trem;   |
| CTC -        | consumo das locomotivas de manobra, em l / hora;  |
| NTC -        | quantidade de locomotivas de manobra, em cada pátio;  |
| TEQ -        | tempo de equipamentos de pátio, em horas / trem;  |

Para o caso de tração elétrica e a vapor, substituir o preço e consumos de diesel por energia elétrica e carvão, respectivamente.

- Pessoal de manutenção de locomotivas

$$\text{CPML} = \text{ISAL} \times \text{CUPML} \times [\text{NLP1} \times \text{RET} \times \text{DTRAN} + \text{NLAUX} \times \text{EXAUX} + (\text{TPLO} + \text{TPLD}) \times 5] \times \text{TMA} / \text{TUT} / \text{DOLAR}$$

|              |   |
|--------------|---|
| onde: CPML - | Custo mensal do pessoal envolvido nos serviços de manutenção de locomotivas, e em mil US\$ / mês;   |
| CUPML -      | custo unitário de pessoal de manutenção de locomotivas, em Cr\$ / loco. km (despesa anual de pessoal de manutenção de locomotivas / loco . km anual gerado pelo sistema); |
| DTRAN -      | distância de transporte, em km;   |
| NLAUX -      | número de locomotivas de auxílio;   |
| EXAUX -      | extensão do auxílio, em km.   |

- Material de manutenção de locomotivas

$$\text{CMML} = \{ \text{CUMMLP} \times [\text{NLP1} \times \text{RET} \times \text{DTRAN} + (\text{TPLO} + \text{TPLD}) \times 5] + \text{CUMMLA} \times (\text{NLAUX} \times \text{EXAUX}) \} \times \text{TMA} / \text{TUT}$$

- onde: CMMML - custo mensal do material utilizado nos serviços de manutenção de locomotivas, em mil US\$ / mês;
- CUMMLP- custo unitário de material utilizado nos serviços de manutenção das locomotivas principais, em US\$ / loco . km;
- CUMMLA- idem, para a loco de auxílio.

- Pessoal de manutenção de vagões

$$CPMV = ISAL \times CUPMV \times RET \times KMVT \times TMA / TUT / DOLAR$$

- onde: CPMV - custo mensal do pessoal envolvido nos serviços de manutenção de vagões, em mil US\$ / mês;
- CUPMV - custo unitário de pessoal de manutenção de vagões, em Cr\$ / vagão . km (despesa anual de pessoal de manutenção de vagões / vagão . km anual gerado pelo sistema);

- Material de manutenção de vagões

$$CMMV = CUMMV \times RET \times KMVT \times TMA / TUT$$

- onde: CMMV - custo mensal de material utilizado nos serviços de manutenção de vagões, em mil US\$ / mês;
- CUMMV- custo unitário de material de manutenção de vagões, em US\$ / vagão . km;

#### *Estimativa do custo operacional da Ferronorte, na alternativa Cuiabá-Uberlândia:*

- Consumo de combustível e lubrificantes

O consumo estimado através de simulações efetuadas foi de 4,7 litros de óleo diesel para cada 1.000 tkm brutas rebocadas. Estimou-se ainda que, para as mesmas locomotivas, o consumo nos trechos existentes não superará 5,7 l/TKBR. Admitiu-se ainda que o consumo de lubrificante será da ordem de 0,0081 litro por litro de óleo diesel. Os custos admitidos para o óleo diesel e óleo lubrificante levaram a um custo equivalente de US\$ 0,27/l de diesel.

- Equipes de tração e mão-de-obra complementar na operação

O principal ítem de mão-de-obra operacional consiste de maquinista e auxiliares. Com base nos salários médios destas categorias da FEPASA estimou-se um custo anual da equipe de condução (maquinista e auxiliar) de US\$ 18.000, entre salários e encargos sociais.

- Outros custos de operação

Os demais custos foram assimilados dos custos de mão-de-obra, tendo-se estimado o quadro de pessoal operacional nos seguintes moldes:

- Estações tipo A: terminais que além de carga e descarga efetuam outras atividades operacionais: Cuiabá, Jataí e Uberlândia com 18 funcionários por estação.
- Estações tipo B: terminais de carga e descarga (6 unidades no total), com 13 funcionários por estação.
- Estações tipo C: postos de cruzamento habitados (6 unidades no total), com 3 funcionários por estação.

- d) Centro de Comando da Circulação e Transportes: 12 funcionários.
- e) Posto de abastecimento: 4 funcionários.
- f) Alojamento para troca de equipe: 2 funcionários.

#### Custo de Manutenção

- Manutenção de locomotivas e vagões

Os custos de manutenção de locomotivas e vagões, compreendendo materiais e mão de obra, foram estimados de acordo com trabalhos realizados (TKBR) e com o percurso anual médio anual dos vagões, a partir de custos obtidos de ferrovias em condições similares de operação.

Quanto ao custo operacional da Ferrovia Norte-Sul provavelmente irá sofrer algumas modificações em relação ao valor apresentado pela VALEC no Estudo da Viabilidade Econômica da Ferrovia Norte-Sul, pois o valor foi estimado ainda na fase prematura do projeto, e sabe-se que a determinação dos custos operacionais de uma ferrovia depende de variáveis que só podem ser definidas com precisão em estágios mais avançados do projeto, através de simulações da demanda associadas aos diversos trechos em que se divide a ferrovia.

Para estimar os custos da Ferrovia Norte-Sul, foram consideradas as seguintes premissas:

- Na fase inicial

Na implantação da operação seriam obtidos custos unitários inferiores à média atual das ferrovias nacionais voltadas para o transporte de grãos agrícolas, e próximos aos obtidos na Ferrovia de Carajás, já que, na opinião da VALEC, a nova ferrovia será construída e administrada segundo os melhores padrões internacionais.

- Na etapa de operação

Foi suposto que após a consolidação da ferrovia seria obtido um custo operacional unitário comparável à média mundial das ferrovias que servem predominantemente ao transporte de grãos.

Os valores foram estimados com base nessas premissas e nas distâncias de transporte previstas para os fluxos da Ferrovia Norte-Sul. Assim, previa-se que no período de 1990-1992 entrariam em funcionamento 2 ramais (Açailândia-Colinas de Goiás e Luziânia-Porangatu), e a partir de 1992 seu trecho completo (Açailândia-Luziânia), já que a parcela do custo total correspondente ao custo operacional se correlaciona com a distância média e com a carga transportada.

Assim, foram estimados e adotados os seguintes custos unitários:

| Período | B a s e s                         |                      | Custo unitário Operacional (US\$/TKU) |
|---------|-----------------------------------|----------------------|---------------------------------------|
|         | Demanda média (10 <sup>6</sup> t) | Distância média (km) |                                       |
| 1990    | 10,6                              | 400                  | 0,0079                                |
| 1995    | 16,6                              | 470                  | 0,0051                                |
| 2000    | 22,2                              | 800                  | 0,0047                                |
| 2005    | 29,1                              | 800                  | 0,0045                                |
| 2010    | 36,2                              | 800                  | 0,0042                                |
| 2015    | 44,6                              | 800                  | 0,0040                                |

Para a Ferrovia Norte-Sul, o investimento em material rodante (locomotivas e vagões) necessário à operação inicial da ferrovia era estimado em 300 milhões de dólares. O cronograma de desembolso do investimento total é mostrado abaixo:

| Ítem /Ano                                   | 1988 | 1989 | 1990 | 1991 | 1992 | Total |
|---|------|------|------|------|------|-------|
| Via permanente e instalações complementares | 454  | 458  | 555  | 606  | 367  | 2.440 |
| Material rodante                            | -    | 39   | 91   | 60   | 110  | 300   |
| Total                                       | 454  | 497  | 646  | 666  | 477  | 2.740 |

Fonte: Ferrovia Norte-Sul - Estudo de Viabilidade Econômica

### b) Rodovia

Segundo o "Manual do Sistema Tarifário" da NTC - Associação Nacional das Empresas de Transporte Rodoviário de Carga, de 1986, os custos operacionais de uma empresa de transporte rodoviário de carga compõem-se de duas parcelas principais: custo administrativo e de operação de terminal e custo de transferência. O custo de transferência corresponde à despesa de transporte de carga entre dois terminais, e está subdividido em duas partes: custos fixos e custos variáveis.

- Custo fixo

O custo fixo é composto das seguintes parcelas:

1. Remuneração mensal do capital (RC)
2. Salário do motorista (SM)
3. Salário de oficina (SO)
4. Depreciação ou Reposição do veículo (RV)
5. Reposição do Equipamento (RE)
6. Licenciamento (LC)
7. Seguro do veículo (SV)
8. Seguro do equipamento (SE)
9. Seguro de responsabilidade civil facultativo (RCF)

Cada ítem será analisado em detalhe a seguir:

1. Remuneração mensal do capital (RC)

A NTC sugere que se use a taxa obtida no mercado financeiro caso esse capital não tivesse sido utilizado para a aquisição de um veículo.

$$RC = (\text{valor do veículo completo} \times 0,13) / 12$$

O coeficiente 0,13 corresponde a taxa anual de 12% de juros para remunerar o capital, mais a taxa de 1% ao ano para remunerar o capital empatado em peças de reposição.

2. Salário de motorista (SM)

Corresponde às despesas mensais com o salário do motorista acrescido dos encargos sociais, que correspondem a 63,4%.

$$SM = 1,634 \times \text{salário do motorista}$$

3. Salário de oficina (SO)

É o custo com pessoal de manutenção do veículo acrescida dos encargos sociais. Por hipótese admite-se que um mecânico seja capaz de fazer manutenção mensal de dois veículos.

$$SO = 1,634 \times (\text{salário do mecânico})/2$$

#### 4. Depreciação ou Reposição de veículos (RV)

Representa uma quantia que deve ser alocada mensalmente a um fundo destinado à aquisição de um veículo novo ao final da vida útil do veículo em operação. Considera-se que o valor residual (VRE) seja de 20% do valor de um veículo novo.

$$RV = (0,80 \times \text{valor do veículo novo, sem pneus})/VUT$$

onde: VUT é a vida útil do veículo (anos)

Obs: os pneus são considerados um dos itens do custo variável.

#### 5. Depreciação ou Reposição do equipamento (RE)

Considera-se que o valor residual seja de 5% de um equipamento novo.

$$RE = (0,95 \times \text{valor do equipamento novo sem pneus})/VUE$$

onde: VUE é a vida útil do equipamento (anos)

Obs: os pneus são considerados um dos itens do custo variável.

#### 6. Licenciamento (LC)

É composto pelos valores do imposto sobre a propriedade de veículos automotores (IPVA) e do seguro por danos causados por veículos automotores em vias terrestres (DPVAT), seguro obrigatório). Dado que estes tributos são pagos uma vez por ano, o valor mensal correspondente será de:

$$LC = (\text{IPVA} + \text{DPVAT})/12$$

#### 7. Seguro do veículo (SV)

Representa uma despesa mensal que deve ser alocada para pagamento de um seguro feito para ressarcimento de eventuais sinistros ocorridos com o veículo. Essas despesas são determinadas de acordo com normas estabelecidas pelas companhias de seguros, conforme descrito abaixo:

$$\text{Prêmio de referência} \times C_1 = V_1$$

*Prêmio de referência* é o valor base a ser pago à seguradora, e é função do tipo de veículo.

$C_1$  é um coeficiente que varia conforme o tipo de utilização do veículo.

$$\text{Importância segurada} \times C_2 = V_2$$

*Importância segurada* é o valor do veículo segurado.

$C_2$  é um percentual que varia conforme o tipo de utilização do veículo.

Finalmente, o valor mensalmente alocado para o pagamento do seguro é:

$$SV = [(V_1 + V_2 + \text{Custo do apólice}) \times 1,04]/12$$

O fator 1,04 corresponde ao IOF, Imposto sobre Operações financeiras.

#### 8. Seguro do equipamento (SE)

O cálculo do custo correspondente a este item é idêntico ao do seguro do veículo.

#### 9. Seguro de responsabilidade civil facultativo (RCF)

É uma despesa mensal que se destina ao pagamento de um seguro que visa a cobertura de eventuais danos materiais e/ou pessoais causados a terceiros. As companhias de seguros estabeleceram níveis de capital para essa cobertura. A cada nível corresponde um importância segurada. Os valores a serem pagos variam de acordo com o nível de capital e o tipo de veículo segurado (categoria).

$$RCF = [(PRDP + PRDM + \text{Custo de apólice}) \times 1,04]/12$$

onde: PRDP - prêmio de danos pessoais  
 PRDM - prêmio de danos materiais  
 O fator 1,04 está levando em conta o IOF

O custo fixo mensal é obtido através da soma dos 9 itens acima:

$$CF = RC + SM + SO + RV + RE + LC + SV + SE + RCF$$

- Custo variável

O custo variável é composto de seguintes parcelas:

1. Peças, acessórios e materiais de manutenção (PM)
2. Combustível (DC)
3. Lavagens e graxas (LG)
4. Pneus e recauchutagens (PR)

Uma análise detalhada de cada um dos itens é apresentada a seguir:

1. Peças, acessórios e materiais de manutenção (PM)

É o custo correspondente às despesas mensais com peças, acessórios e material de manutenção do veículo. Uma vez determinadas essas despesas mensais, divide-se o valor pela distância percorrida no mês pelo veículo, obtendo-se o custo por quilômetro com este item. Geralmente admite-se que essa despesa corresponda a 1% do valor do veículo completo e sem pneus. No entanto é importante que cada empresa determine o seu próprio custo. Admitindo-se os 1%, temos:

$$PM = (\text{valor do veículo novo sem pneus} \times 0,01)/DM$$

onde: DM - distância mensal percorrida pelo veículo (km)

2. Combustível (DC)

É a despesa efetuada com combustível para cada quilômetro percorrido pelo veículo.

$$DC = PC/CM$$

onde: DC - despesa com combustível por quilômetro (Cr\$/km)  
 PC - preço unitário do combustível (Cr\$/l)  
 CM - consumo médio de combustível (km/l)

3. Lubrificantes (LB)

- 3.a Lubrificante do motor (LM)

São as despesas decorrentes da lubrificação interna do motor. Para o cálculo dessa despesa admite-se que existe a reposição de 1 litro de lubrificante a cada 1.000 km, e

que ao final da quilometragem de troca (estabelecida pelo fabricante) será reposta uma quantidade igual à capacidade do carter.

$$LM = [PLM \times (VC + VR)]/QM$$

onde: PLM - preço unitário do lubrificante do motor (Cr\$/l)  
 VC - capacidade do carter do veículo (l)  
 VR - volume de reposição (1 litro a cada 1.000 km)  
 QM - quilometragem entre a troca de óleo do motor

### 3.b. Lubrificantes da transmissão (LT)

Neste caso são somados os volumes de lubrificantes da caixa diferencial e do câmbio. O custo com este item é obtido multiplicando-se a soma pelo preço unitário do óleo e em seguida dividida pela quilometragem entre troca de óleo.

$$LT = [(VD + VCC) \times PLT]/QT$$

onde: VD - capacidade da caixa diferencial (l)  
 VCC - capacidade da caixa de câmbio (l)  
 PLT - preço unitário do lubrificante de óleo de transmissão (Cr\$/l)  
 QT - quilometragem entre troca de óleo de transmissão (km)

O custo total de lubrificação é obtido somando-se os custos de 3.a e 3.b.

$$LB = LM + LT$$

### 4. Lavagens e graxas (LG)

São as despesas com lavagens e lubrificação externa do veículo. O valor desse custo é calculado dividindo-se o preço de uma lavagem completa pela quilometragem recomendada pelo fabricante do veículo, para lavagem periódica.

$$LG = PL/QL$$

onde: PL - preço da lavagem completa do veículo (Cr\$)  
 QL - quilometragem recomendada pelo fabricante do veículo.

### 5. Pneus e recauchutagem (PR)

Por hipótese admite-se uma perda de 20% dos pneus, ou seja, a cada 5 pneus perde-se 1. Além disso, considera-se que cada pneu sofre uma recauchutagem durante o período de vida útil (VP).

$$PR = [1,2 \times (P + C + PP) \times NP + R \times NP]/VP$$

onde: P - preço do pneu novo com IPI  
 C - preço da câmara nova com IPI  
 PP - preço do protetor novo com IPI  
 NP - número de pneus (veículos e equipamentos)  
 R - preço da recauchutagem  
 VP - vida útil do pneu com recauchutagem (km)

O custo total variável por quilômetro é obtido pela soma das 5 parcelas acima:

---

$$CV = PM + DC + LB + LG + PR$$

- Despesas administrativas e de terminais

As despesas administrativas estão subdivididas em duas grandes parcelas:

1. Relativas aos salários e encargos sociais de pessoal não diretamente envolvido na operação dos veículos:
  - Salário de pessoal de armazéns e escritórios
  - Gratificações, prêmios e comissões
  - Horas extras
  - Encargos sociais (63,40%)
  - Honorários da diretoria
2. Relativas às despesas diversas necessárias ao funcionamento da empresa, entre as quais podem ser citadas:
  - Aluguéis de áreas (armazéns, escritórios, estacionamento)
  - Aluguéis de equipamentos
  - Impostos e taxas
  - Água e luz
  - Telefone, telex, fax, correio
  - Material de escritório
  - Serviços de manutenção, conserva e limpeza
  - Serviços profissionais de terceiros
  - Serviços de processamento de dados
  - Viagens, estadas e condução
  - Refeições e lanches
  - Depreciação de máquinas e equipamentos
  - Depreciação de móveis e utensílios
  - Seguro contra fogo
  - Seguro de instalações
  - Despesas legais
  - Seguro de vida em grupo
  - Assistência médica e hospitalar
  - Brindes
  - Jornais e revistas
  - Contribuições e doações
  - Uniformes
  - Serviços de cópias e xerox
  - Plano de integração social
  - Reembolso de INPS e autônomos
  - Despesas de promoção, propaganda e publicidade
  - Outras despesas

É importante salientar que nem sempre o custo é obtido de forma detalhada como apresentada acima. Muitas vezes, algumas classes de transportadores, organizadas em associações, acabam adotando determinados métodos de cálculo de custo. Um exemplo típico é o caso de transporte público urbano. Na maioria das cidades brasileiras é adotado o método contido no manual "Instruções Práticas para Cálculo de Tarifas de Ônibus Urbanos", publicado pela Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes (GEIPOT) e a Empresa



Brasileira dos Transportes Urbanos (EBTU), em 1983. O manual foi elaborado com o intuito de servir de guia para as empresas que não tivessem um bom conhecimento a respeito da sua estrutura de custo. O que se observa, porém, é que o manual foi adotado pela maioria das empresas de transporte público urbano e dos concedentes do serviço.

O método consiste em calcular os custos dos seguintes itens:

## 1. Custos variáveis

a) Combustível;

b) Óleos e lubrificantes;

c) Rodagem - a rodagem compõe-se de pneu, câmara e protetor. Admite-se para o cálculo do custo da rodagem como sendo de 40.000 km a vida mínima de um pneu novo e de 15.000 km a duração mínima de cada recapagem, considerando-se duas recapagens por pneu, sendo, portanto, de 70.000 km a sua vida útil total. A vida útil da câmara e do protetor é de 35.000 km.

## 2. Custos fixos

a) Custo de capital

a.1. Depreciação - a qual é calculada pelo *método do valor de depreciação anual aritmeticamente decrescente* que foi visto na seção 4.4.2.1. A vida útil de 7 anos é atribuída aos ônibus. Para se obter a depreciação mensal divide-se a depreciação mensal por 12.

A depreciação mensal relativa a instalações e equipamentos é calculada multiplicando-se o preço do veículo novo por 0,0001 (este valor foi obtido através de levantamentos efetuados em algumas cidades)

a.2. Remuneração do capital

O cálculo da remuneração do capital (veículos, almoxarifado e instalações e equipamentos) é feito adotando-se a taxa de remuneração de 12% aa.

A remuneração do capital empregado em cada veículos é calculado sobre o valor do veículo novo menos a depreciação ocorrida até aquela data, conforme foi explicado na seção 4.4.2.1.

A remuneração do capital empregado em almoxarifado é calculado como sendo 3% do valor do veículo novo por veículo.

A remuneração do capital empregado em instalações e equipamentos é calculado como sendo 4% do preço do veículo novo por veículo.

b) Despesas com peças e acessórios - adota-se o valor de 10% do preço do veículo novo por ano e por veículo.

c) Despesas com pessoal de operação e manutenção - é obtida pela multiplicação dos salários mensais médios de motorista, cobrador, fiscal, despachante e mecânico - acrescidos dos encargos sociais (em média 58%) pelo fator de utilização de cada categoria. Admite-se o valor de 1,9 como fator de utilização para motorista, 1,9 para cobrador, 0,1 para fiscal/despachante e 0,8 para pessoal de manutenção.

d) Despesas administrativas

d.1. Seguro obrigatório

- d.2. Imposto sobre propriedade de veículos automotores (IPVA)
- d.3. Despesa com pessoal administrativo - o valor máximo desta despesa não deverá ser maior do que 10% da despesa mensal com pessoal de operação e manutenção.
- d.4. Outras despesas - são as despesas relativas ao material de expediente, luz, telefone, água e impostos. O valor anual dessa despesa não poderá ser superior a 2% do preço do veículo novo.

Exemplo:

Os dados de uma empresa de transporte coletivo urbano estão apresentados nas tabelas abaixo. Pede-se: calcular o custo por quilômetro.

Composição etária dos veículos

| Idade        | 0-1 | 1-2 | 2-3 | 3-4 | 4-5 | 5-6 | 6-7 | + 7 |
|--------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| No. de veíc. | 7   | 11  | 5   | 1   | 9   | 15  | 13  | 9   |

Insumos e respectivos custos (setembro de 1993)

| Insumos                    | Preço (CR\$) |
|----------------------------|--------------|
| Um litro de diesel         | 36,8958      |
| Um litro óleo de motor     | 291,65       |
| Um litro óleo ex. mudança  | 312,90       |
| Um litro óleo diferencial  | 460,92       |
| Um litro fluido freio      | 740,28       |
| Um quilo de graxa          | 369,02       |
| Um pneu novo               | 68736,91     |
| Uma recapagem              | 8551,40      |
| Uma câmara de ar           | 5009,98      |
| Um protetor                | 2287,64      |
| Um veículo novo            | 13578247,78  |
| Seguro obrigatório/veículo | 9686,73      |
| Despesa com a TRU          | 0,00         |
| Frota total em uso         | 70           |
| Frota efetiva em uso       | 65           |
| Salário mensal motorista   | 63361,91     |
| Salário mensal cobrador    | 30986,71     |
| Salário mensal fiscal      | 67557,42     |
| Salário mensal mecânico    | 71578,93     |
| Quilometragem total mensal | 452939       |

Coefficientes de depreciação e fatores de remuneração dos veículos

| Composição etária da frota |              | Depreciação anual frota |               | Remun. mensal do Capital |               |
|----------------------------|--------------|-------------------------|---------------|--------------------------|---------------|
| Idade                      | No. de veíc. | Taxa                    | Coef. Deprec. | Taxa                     | Fator. remun. |
| 0--1                       | 7            | 0,2000                  | 1,4000        | 0,0100                   | 0,0700        |
| 1--2                       | 11           | 0,1714                  | 1,8854        | 0,0080                   | 0,0880        |
| 2--3                       | 5            | 0,1429                  | 0,7145        | 0,0063                   | 0,0315        |
| 3--4                       | 1            | 0,1143                  | 0,1143        | 0,0049                   | 0,0049        |
| 4--5                       | 9            | 0,0857                  | 0,7713        | 0,0037                   | 0,0333        |
| 5--6                       | 15           | 0,0571                  | 0,8565        | 0,0029                   | 0,0435        |
| 6--7                       | 13           | 0,0286                  | 0,3718        | 0,0023                   | 0,0299        |
| mais de 7                  | 9            | 0,0000                  | 0,0000        | 0,0020                   | 0,0180        |
|                            |              |                         | 6,1138        |                          | 0,3191        |

As taxas acima são obtidas através do método do valor de depreciação anual aritmeticamente decrescente

Cálculo de custo:

1. custo variável

|                                  |                         |           |
|----------------------------------|-------------------------|-----------|
| Percurso médio mensal / veíc.    | 452939 / 65             | 6968      |
| <i>Custo combustível / km</i>    | $36,8958 \times 0,38$   | 14,02     |
| Custo óleo do motor / km         | $291,65 \times 0,00730$ | 2,13      |
| Custo óleo ex. mudança / km      | $312,90 \times 0,00042$ | 0,13      |
| Custo do óleo diferencial        | $460,92 \times 0,00058$ | 0,27      |
| Custo do fluido freio / km       | $740,28 \times 0,00022$ | 0,16      |
| Custo de graxa / km              | $369,02 \times 0,00092$ | 0,34      |
| <i>Custo óleos e lubrif./km</i>  |                         | 3,03      |
| Custo de 6 pneus                 | $68736,91 \times 6$     | 412421,46 |
| Custo de 12 recapagens           | $8551,40 \times 12$     | 102616,8  |
| Custo de 12 câmaras              | $5009,98 \times 12$     | 60119,76  |
| Custo de 12 protetores           | $2287,64 \times 12$     | 27451,68  |
| Custo total da rodagem           |                         | 602609,70 |
| <i>Custo da rodagem / km</i>     | $602609,7 / 70.000$     | 8,61      |
| <i>Custo variável Total / km</i> |                         | 25,66     |

2. Custo fixo

|                               |  |             |
|-------------------------------|--|-------------|
| Preço de um veículo novo      |  | 13578247,78 |
| Preço da rodagem              |  | 442481,34   |
| Preço veíc. novo menos rodag. |  | 13135766,44 |

|   |                                     |                  |
|---|-------------------------------------|------------------|
| Frota total em operação                       |                                     | 70               |
| Coef. de deprec. anual da frota               | (obtido da tabela acima)            | 6,1138           |
| Depreciação anual da frota                    | $13135766,44 \times 6,1138$         | 80309448,86      |
| Depreciação mensal por veículo                | $80309448,86 / 70 / 12$             | 95606,49         |
| Depr. mensal maq., instal. e equip.           | $13578247,78 \times 0,0001$         | 1357,82          |
| <i>Deprec. mensal total/veículo</i>           |                                     | <i>96964,31</i>  |
| Coef. remuneração mensal veíc.                |                                     | 0,3191           |
| Remun. mensal capital da frota                | $13135766,44 \times 0,3191$         | 4191623,07       |
| Remun. mensal capital / veículo               | $4191623,07 / 70$                   | 59880,33         |
| Remun. mensal capital almox.                  | $13578247,78 \times 0,0003$         | 4073,47          |
| Remun. mensal cap. inst. equip.               | $13578247,78 \times 0,0004$         | 5431,30          |
| <i>Remun. mensal total / veículo</i>          |                                     | <i>69385,10</i>  |
| <i>Custo total de capital/veículo/mês</i>     |                                     | <i>166349,41</i> |
| <i>Despesas com peças e acessórios</i>        | $13578247,78 \times 0,0083$         | <i>112699,46</i> |
| Desp. com motoristas/veíc./mês                | $63361,91 \times 1,58 \times 2,5^*$ | 250279,54        |
| Desp. com cobradores/veíc./mês                | $30986,71 \times 1,58 \times 2,5^*$ | 122397,50        |
| Desp. com fiscais/veíc./mês                   | $67557,42 \times 1,58 \times 0,10$  | 10674,07         |
| Desp. mensal pess. man./veíc./mês             | $71578,93 \times 1,58 \times 0,80$  | 90475,77         |
| <i>Desp. com pessoal oper. man./veíc./mês</i> |                                     | <i>473826,88</i> |
| <i>Desp. mensal com seguro / veículo</i>      |                                     | <i>807,23</i>    |
| TRU   |                                     | 0,00             |
| Desp. mensal pessoal administr.               | $473826,88 \times 0,1000$           | 47382,69         |
| Outras despesas                               | $13578247,78 \times 0,0017$         | 23083,02         |
| <i>Desp. total administ. mensal /veíc.</i>    |                                     | <i>71272,94</i>  |
| <i>Custo fixo total / mês / veículo</i>       |                                     | <i>824148,69</i> |
| <i>Custo fixo total por km</i>                | $824148,69 / 6968$                  | <i>118,28</i>    |
|   |                                     |                  |
| <i>Custo total por km</i>                     | $118,28 + 25,66$                    | <i>143,94</i>    |

#### 4.6. Custo operacional de veículos que trafegam numa determinada rodovia

Quando se trata da determinação do custo operacional da frota de uma empresa de transporte a tarefa é relativamente simples, pois como o tipo, a marca e a idade de cada veículo são conhecidos, basta que se siga o roteiro acima apresentado. Existem situações, no entanto, em que é preciso calcular o custo operacional de uma frota cujas características específicas de cada veículo não são conhecidas. Uma dessas situações é a determinação da redução no custo operacional de veículos numa rodovia, em consequência de algum melhoramento (pavimentação da estrada, duplicação de pista, construção da terceira faixa numa pista simples, etc). Com

relação a rodovias existentes, o DER-SP (Departamento de Estrada de Rodagem do Estado de São Paulo) possui dados sobre a participação relativa e absoluta de cada tipo de veículos nas principais rodovias paulistas. Nesses casos, o procedimento normal é calcular o custo operacional dos veículos representativos de cada tipo (automóveis, utilitários, caminhões médios, caminhões pesados, etc.) e posteriormente multiplicá-lo pelo respectivo volume de veículos. Com relação ao futuro custo operacional total na rodovia a ser implantada ou a receber melhoramento, ele é estimado em função da demanda prevista para o transporte de passageiros e de cargas e da tendência na modificação da participação relativa de cada tipo de veículo no conjunto. No projeto da Estrada do Sol os custos operacionais médios foram estimados em: US\$ 0,08/km para veículos de passeio; US\$ 0,34/km para ônibus; e US\$ 0,27/km para caminhões.

### Exercícios

4.1. Calcular o custo de transporte por caminhão, de 60 t/dia de carga a uma distância de 450 km, supondo que a viagem ida/volta dura um dia. Considere caminhões com capacidade para 10, 20 e 30 t. Faça o gráfico de custo total diário de transporte versus capacidade do caminhão, e custo médio por t.km versus capacidade do caminhão. Os preços dos caminhões podem ser obtidos nas revistas especializadas, tais como Quatro Rodas ou Transporte Moderno.

4.2. Calcular o custo por quilômetro da empresa de transporte coletivo urbano do exemplo da página 95 supondo que a composição etária seja:

a)

| Idade        | 0--1 | 1--2 | 2--3 | 3--4 | 4--5 | 5--6 | 6--7 | +7 |
|--------------|------|------|------|------|------|------|------|----|
| No. de veíc. | 15   | 13   | 11   | 9    | 9    | 7    | 5    | 1  |

b)

| Idade        | 0--1 | 1--2 | 2--3 | 3--4 | 4--5 | 5--6 | 6--7 | +7 |
|--------------|------|------|------|------|------|------|------|----|
| No. de veíc. | 1    | 5    | 7    | 9    | 9    | 11   | 13   | 15 |



---

## 5. OFERTA DE TRANSPORTES

---

### 5.1. Introdução

Em termos econômicos, oferta quer dizer intenção de uma ou mais pessoas, físicas ou jurídicas, de colocarem alguma coisa à disposição de quem quer que seja, gratuitamente ou não. Assim, essa intenção pode ser mais forte ou mais fraca, dependendo da situação em que se encontra o ofertante. Por exemplo, um comerciante que fez um grande estoque de brinquedos visando o dia das crianças, mas que, devido à recessão, não conseguiu vender muito nesse dia, provavelmente terá uma grande intenção de se livrar do estoque, ou seja, a intenção de ofertar é grande. Coisa que certamente não acontecia enquanto formava o seu estoque.

Para elucidar a questão dos diferentes níveis de oferta, vamos empregar um exemplo de uma empresa produtora de bens. A empresa tem uma dada dimensão, usa uma determinada tecnologia, e tem uma certa estrutura de custos. A diretoria da empresa está diante de um dilema com relação à política a ser seguida: a maximização do lucro ou a conquista de uma maior fatia do mercado? A segunda alternativa significa redução no lucro, uma vez que terão de vender mais barato para aumentar o volume de venda. No que diz respeito à oferta, podemos afirmar que a oferta, ou o nível de oferta, com a política de máximo lucro será menor do que com a de conquista do mercado. Ou seja, para as mesmas condições de produção e de preço, a política de conquista de mercado levará a ofertar mais.

Ainda que a intenção do comerciante em vender seja grande, isso não significa que a quantidade ofertada também o será. Ela depende de vários fatores tais como preço de venda, da premência ou não de fazer caixa, etc. Se o comerciante não estiver precisando de muito dinheiro, e o preço do brinquedo estiver baixo no mercado, o comerciante simplesmente pode ofertar apenas uma pequena parcela do seu estoque, o suficiente para levantar o dinheiro necessário, e manter o resto em estoque para esperar a recuperação do preço.

Um cuidado que deve ser tomado é o seguinte: o argumento acima dá a entender que a quantidade ofertada cresce com o preço vigente no mercado. Aliás, todas as curvas de oferta do produtor, mostradas nos livros de microeconomia transmitem essa idéia. É bem verdade que na maioria das vezes acontece isso. Porém, às vezes, quando um empresário toma decisões baseado

nas projeções que não se realizam, a curva de oferta pode ser decrescente. Isto acontece porque os empresários estão às voltas com o pagamento dos fornecedores de insumos e de salários aos funcionários, de tal modo que ele se vê obrigado a levantar um certo montante de dinheiro dentro de um prazo. Nesses casos, quanto menor estiver o preço no mercado, maior é a quantidade que ele terá de ofertar.

Porém, nem sempre ele conseguirá vender por aquele preço toda a quantidade ofertada. A venda de uma certa quantidade não depende só da quantidade ofertada por ele, mas da quantidade total ofertada por seus concorrentes, e também da quantidade demandada àquele preço.

## 5.2. Oferta de transporte

Até aqui sempre nos referimos à oferta de bens de consumo, de qualidade supostamente homogênea. E, justamente por causa dessa suposição, o preço é o único fator considerado na análise da oferta. No caso de transporte, essa simplificação deformaria completamente a análise, pois em muitas situações a qualidade predomina sobre o preço. As teorias microeconômicas não fornecem uma maneira satisfatória de tratar esse tipo de problema. Além disso, transporte é um serviço altamente perecível. Se os serviços não forem consumidos (aproveitados), no momento e no local da oferta, eles serão perdidos, diferentemente dos bens como alimento, vestimenta, etc., que podem ser estocados.

Quando se trata de oferta de infra-estrutura de transporte, os preços são muitas vezes desconhecidos. Com excessão das rodovias em que é cobrado pedágio e nos terminais onde é cobrado uma taxa de embarque, os custos de implantação, manutenção e conservação são cobrados de forma indireta, na forma de taxa sobre o consumo de combustível, ou de impostos.

Uma outra característica do transporte, geralmente ligada à infra-estrutura, é que esta é relativamente indivisível, fazendo com que a quantidade ofertada aumente discretamente, na forma de escada. Tecnicamente não é possível operar com meia pista ou com meia locomotiva. Mesmo assim eles admitem certa divisibilidade. A grande maioria das rodovias de pista dupla foi construída em duas etapas: uma das pistas na primeira etapa e a outra na segunda, após verificada na prática a sua necessidade. Ainda com relação à indivisibilidade de certos componentes de um sistema de transporte, pode-se dizer que uma ferrovia é muito mais indivisível do que uma rodovia. A rodovia pode nascer a partir de uma picada por onde trafegam, com dificuldade, alguns caminhões por dia. Quando a demanda pela picada aumentar, pode-se fazer uma terraplanagem e estará aberta uma estrada de terra. Mas as irregularidades no pavimento, geralmente causadas pela ação da chuva, e as poeiras levantadas nas estradas de terra restringem sua capacidade a algumas dezenas ou centenas de veículos por hora. Essa capacidade pode ser incrementada cobrindo-se a superfície da estrada com cascalho, o qual terá a função de impedir, parcialmente, a erosão e de diminuir a poeira. Com o aumento da demanda a estrada poderá ser asfaltada. Teremos então uma pista com duas faixas, e assim por diante. A ferrovia, por outro lado, não admite esse tipo de melhoramento gradual. Ou se tem a infra-estrutura (subleito e leito) e a superestrutura (lastro, dormentes e trilhos) ou não se tem a ferrovia. Quanto a veículos, além da possibilidade de adequar a capacidade à necessidade, dada a sua capacidade relativamente pequena em relação ao volume total a ser transportado, pode-se considerar a quantidade adaptável às necessidades. Além disso, no mercado existem veículos de diferentes capacidades.

Os atributos da oferta de transporte dependem das características físicas do objeto ofertado, seja ele via, veículo ou terminal, e também do comportamento de usuários. Também por esta

razão, seria impróprio restringir a definição da oferta de transporte ao conceito microeconômico. Muitos dos aspectos importantes do nível de serviço de transporte, que diretamente afetam o fluxo de veículos, dependem do uso que as pessoas fazem do sistema de transporte; portanto, não podem ser considerados como algo determinado pelo ofertante. Por exemplo, em transporte urbano, o tempo de viagem é basicamente determinado pelo próprio usuário que escolhe tanto a rota como o modo. Numa rodovia rural, o tempo de viagem depende principalmente da velocidade que cada motorista imprime ao seu veículo, ou da situação de congestionamento que também é resultado da decisão dos usuários de usar o transporte individual.

Tendo-se em vista a análise, no próximo capítulo, de equilíbrio entre a demanda e a oferta para estimar o tráfego resultante, precisa-se definir a oferta de transporte através do conjunto de atributos que reflitam de maneira realista a atividade de transporte. Para isso precisamos incorporar outros atributos de transportes, quantificáveis ou não em termos monetários. A seleção de atributos apropriados depende do tipo de transporte em questão. Assim, em transporte urbano por automóvel, o tempo de viagem, o custo monetário da viagem e o custo de estacionamento poderiam ser suficientes para descrever a oferta de transporte, enquanto que em viagem de avião seria necessário considerar além do tempo de viagem e preço da passagem aérea, outros custos monetários em terra, tempo de espera no aeroporto, frequência de serviço, horário do voo, fator de ocupação, etc. Não é preciso adotar um esquema único para definição da oferta para todos os tipos de transporte. Tal esquema provavelmente complicaria desnecessariamente a análise de transporte.

As características da oferta de transporte dependem de quatro fatores:

1. *Tecnologia.* As características técnicas do sistema de transporte afetam seu desempenho. Em particular, o custo operacional de um sistema depende bastante do tipo de tecnologia usada. Outros aspectos importantes da oferta dependem diretamente da tecnologia, tais como capacidade e velocidade.
2. *Estratégia operacional.* A maneira como uma tecnologia é utilizada para realizar um serviço de transporte depende do comportamento e objetivo do operador. Por exemplo, a estratégia de expandir a capacidade do sistema para se adequar ao aumento na demanda é um forte determinante de muitos atributos de oferta num sistema como a de transporte público por ônibus ou de transporte aéreo de passageiros. O comportamento do operador determina o quanto dos custos operacionais serão cobertos e como isso será feito.
3. *Exigências e restrições institucionais.* As estratégias operacionais e a política de tarifação em transporte estão muitas vezes sujeitas a exigências e restrições que são impostas pela regulamentação. Por exemplo, num sistema de transporte regulamentado, a estratégia de tarifação está regulamentada por instituições governamentais.
4. *Comportamento do usuário.* Alguns aspectos da oferta de transporte dependem do comportamento dos usuários do sistema de transporte. No caso de transporte de mercadorias, é comum os expedidores variarem os níveis de estoque, o tamanho do lote despachado, a frequência, e os métodos de empacotamento. Usuários de transporte coletivo urbano podem também influenciar os atributos de oferta escolhendo os modos, as rotas e a velocidade de viagem.

Estes quatro fatores interagem juntos para formar a função de oferta, que expressa os atributos da oferta do ponto de vista do usuário e mostra como eles estão relacionados à magnitude do fluxo de veículos. A Figura 5.1 mostra um diagrama estrutural indicando as principais interações entre estes fatores. A maneira como a tecnologia de transporte é operada e



a maneira como ela é influenciada pelos aspectos institucionais e pelo próprio mercado podem

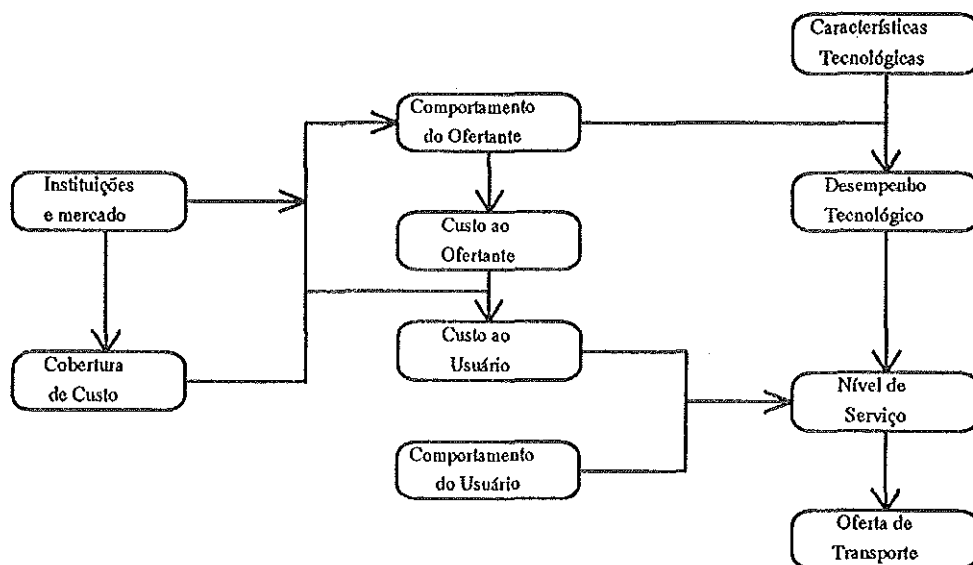


Figura 5.1: Influências sobre a oferta de transporte

ser descritas por uma função de desempenho que é transformada em uma função custo do operador. Este custo é transformado em custo ao usuário aplicando o esquema de cobertura de custo acordado entre o ofertante e a instituição governamental, e também considerando a influência do usuário. A função que descreve a evolução do custo ao usuário com o fluxo de usuários é a função oferta de transporte. Uma observação importante é que o custo incorrido, seja ele monetário, tempo de viagem, ou desconforto, é geralmente diferente do percebido. Dado que a decisão do usuário é baseada no custo percebido, o custo ao usuário deve refletir esse custo.

Por várias vezes mencionamos os termos como ofertante, operador, usuário e regulamentação. Vamos antes de mais nada definir essas entidades e o papel que cada uma desempenha na oferta:

- *Ofertante.* Refere-se à pessoa ou à entidade que realmente oferta o serviço de transporte. Ele pode ser um departamento estadual de estrada de rodagem cujo papel é planejar, projetar, construir, operar e fazer a manutenção e conservação de rodovias do estado, ou uma empresa que fornece serviços de transporte. O ofertante incorre em custos diretamente relacionados às características de desempenho da tecnologia empregada. O ofertante pode ou não estar envolvido na operação ou na regulamentação do serviço de transporte em questão.
- *Operador.* É uma pessoa ou uma entidade que trata da operação do sistema de transporte e com as decisões relativas aos problemas administrativos ou aos problemas de roteamento e de horários no caso de uma empresa de transporte. Muitas vezes o operador arrecada dos usuários a receita necessária para cobrir, total ou parcialmente, o custo do sistema. Em alguns casos, uma entidade é ofertante e operador ao mesmo tempo. Em outros casos, o ofertante e operador são entidades distintas que em conjunto oferecem o serviço de transporte, com o ofertante fornecendo a infra-estrutura básica, e o operador respondendo pela operação e manutenção do sistema. Mas na maioria das vezes os ofertantes são várias entidades. É o caso do transporte rodoviário onde uma entidade oferta a rodovia enquanto os veículos e sua operação são ofertados por empresas de transporte. No caso de transporte

privado por automóvel, as vias são ofertadas por algum órgão público e o veículo e sua operação é ofertado pelo próprio usuário.

- *Usuários.* São pessoas ou entidades que tomam decisões sobre a viagem. Em transporte de passageiros, estes são os viajantes, e em transporte de cargas, são os expedidores ou receptores. A importância do usuário na análise de oferta está no fato de que os custos de transporte incorridos aos usuários são relevantes na obtenção da função oferta.
- *Regulamentação.* Referem-se a leis, normas e regras fixadas pelas entidades que exercem alguma forma de controle sobre a operação do sistema ou sobre as relações entre agentes envolvidos na oferta de transporte. A regulamentação pode ser de natureza técnica e operacional quando se trata das exigências concernentes à liberação, adaptação e operação de uma tecnologia de transporte, ou econômica quando se refere à maneira de cobrir os custos, e aos métodos de tarifação.

É importante notar a existência de hierarquia funcional entre os quatro agentes. Essa hierarquia começa com o ofertante, cuja tecnologia determina basicamente o tipo de transporte a ser ofertado. Em seguida vem o operador que adapta e articula a tecnologia em resposta às condições de tráfego e a outros tipos de influências. Finalmente vem o usuário que "recebe" o serviço ofertado. Todos esses agentes são influenciados em seu comportamento pelas regulamentações. Esta hierarquia funcional aplica-se também aos custos e atributos de nível de serviço. Os custos do ofertante pode afetar o custo do operador, que por sua vez afeta o custo do usuário. Estes custos, bem como as relações entre eles, são influenciados pela regulamentação. Mais adiante, ilustraremos melhor o papel de cada agente no desenvolvimento das funções oferta de transporte para diferentes tipos de transporte.

### 5.3. Função oferta

#### 5.3.1. Função custo ao usuário

Vimos no capítulo anterior que o custo de transporte é um atributo complexo e multidimensional, que representa os recursos que devem ser dispendidos para realizar um transporte. Além disso, o custo vai além do custo monetário, e inclui características tais como valor do tempo gasto em viagem, a perda do valor da mercadoria em trânsito, e o custo da inconveniência e do desconforto de viajar sob certas condições. Por esta razão, é comumente

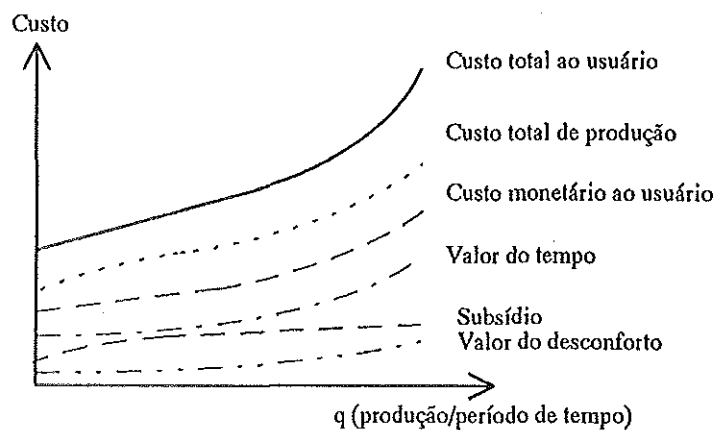


Figura 5.2: Relação entre vários custos

empregado o termo "custo generalizado" para refletir essa multidimensionalidade. Na realidade é uma tentativa de transformar todos os componentes de custo para um sistema de unidade única, normalmente unidade monetária (ou unidade de tempo). Isso é feito atribuindo valor monetário para cada um desses componentes. A figura 5.2 mostra como se obtém o custo total ao usuário. O custo total de produção é o custo total dispendido na produção de serviço de transporte conforme foi visto no capítulo anterior. Dependendo do fim a que o transporte esteja destinado, uma parte do custo de produção pode estar subsidiado por alguma instituição governamental. O restante do custo monetário é repassado aos usuários. Acrescenta-se a isso o valor (monetário) equivalente ao tempo gasto na viagem e outros custos como desconforto, e tem-se o custo total ao usuário.

### 5.3.2. Função oferta

A função oferta relaciona os atributos do sistema de transporte, da maneira como eles são percebidos pelos usuários, ao nível de produção do sistema. Em outras palavras, é uma função que representa a relação causal entre os atributos do sistema de transporte e o nível de produção do sistema. A função oferta representa o reverso da função de demanda. A função demanda mostra como o volume de tráfego é afetado pelos atributos de nível de serviço do sistema de transporte, e a função oferta mostra como esses atributos são influenciados pelo fluxo de veículos no sistema. A fim de facilitar a análise do equilíbrio e a estimativa de tráfego, geralmente usam-se as mesmas variáveis para descrever tanto o fluxo de veículos como o nível de serviço em ambas as funções. Se nós pensarmos nos atributos do nível de serviço como sendo os componentes de custo, então a função oferta seria análoga a uma função custo total médio ao usuário, pois esta seria o custo total a que cada usuário está sujeito. Pela mesma razão, é importante pensar na função oferta como sendo uma relação entre tráfego e custo percebido da viagem. Isto é particularmente importante quando se trata de viagens em automóvel privado, pois é sabido que as pessoas subestimam o custo ao viajarem em seus automóveis. É muito comum atribuímos apenas o custo de combustível, mesmo sabendo que o custo operacional é composto de vários outros custos.

Assim, parece conveniente ressaltar que o custo ao usuário é necessário para se determinar o fluxo de equilíbrio e para se avaliar econômica ou socialmente os projetos de transporte. Mas o custo a ser considerado na avaliação ou comparação de projetos privados deve ser o custo monetário.

Dissemos anteriormente que a função oferta é análoga a uma função custo total médio ao usuário. Uma função oferta típica usada na análise de tráfego rodoviário é apresentada na Figura 5.3. Esta função considera o dinheiro desembolsado pelo usuário, a duração da viagem, e o desconforto e inconveniência da viagem pela rodovia, particularmente quando o volume de tráfego aumenta.

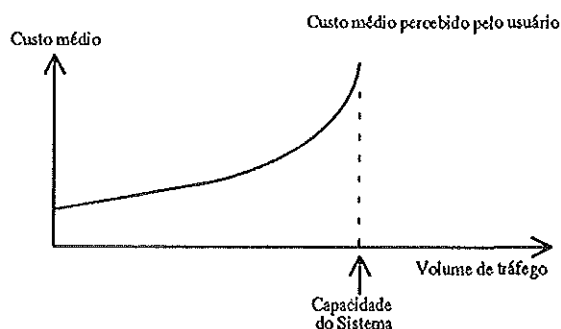


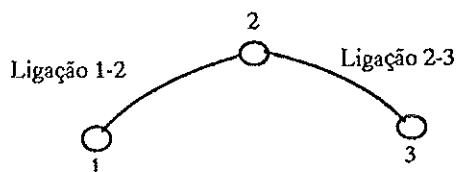
Figura 5.3: Uma função oferta de transporte

### 5.3.3. Oferta na ligação e oferta no sistema

Na análise de oferta de transporte é preciso fazer distinção entre a função oferta para uma ligação isolada e para um sistema de ligações. Esta distinção é importante porque na maioria das vezes estamos interessados nas características de oferta de um sistema composto de várias ligações, cada qual representando uma rota, um modo, ou uma infra-estrutura.

Uma função oferta de uma ligação relaciona o volume de tráfego e características de oferta para uma infra-estrutura de transporte, que pode ser uma rota entre dois pontos por um determinado modo. A função de oferta apresentada na Figura 5.3 poderia, por exemplo, representar uma função oferta de uma ligação de um trecho de rodovia conectando dois pontos bem definidos. Uma função oferta de uma ligação é válida para apenas uma tecnologia. Assim, se automóveis e ônibus trafegassem pela rodovia, seriam necessárias diferentes funções oferta para descrever as características de cada um deles. É possível, todavia, combinar ambas as funções de oferta para obter uma que represente a oferta para o conjunto automóveis-ônibus.

Uma função de oferta de um sistema representa um sistema de transporte que pode estar composto por um conjunto de ligações operando em série ou em paralelo. Em casos de agregação em série, o sistema é composto de várias ligações, todas elas usadas para conectar um ponto de origem a um ponto de destino. Na figura abaixo é mostrada uma situação onde duas ligações são conectadas em série para formar um sistema de transporte ligando 1 a 3.



Supondo que ambas as ligações sejam usadas apenas pelo tráfego originado em 1 e que todos se destinem a 3, a curva de oferta na ligação 1-3 pode ser determinada somando-se verticalmente as funções oferta da ligação 1-2 e ligação 2-3, como mostra a Figura 5.4. Na prática, porém, geralmente entram e saem veículos no ponto 2, que pode ser um trevo de uma cidade ou uma interseção com outra rodovia. Nesse caso, não é possível fazer um gráfico de oferta para a ligação 1-3, pois por via de regra os fluxos de tráfego na ligação 1-2 e na ligação 2-3 são diferentes. Conseqüentemente, para se estimar o custo total ao usuário para ir de 1 a 3 é preciso antes estimar o custo ao usuário em cada uma das ligações por intermédio dos respectivos volumes de tráfego e das curvas de oferta, para então somar os resultados. Matematicamente, o custo total ao usuário na ligação 1-3 ( $t_{13}$ ) seria:  $t_{13} = t_{12} + t_{23}$

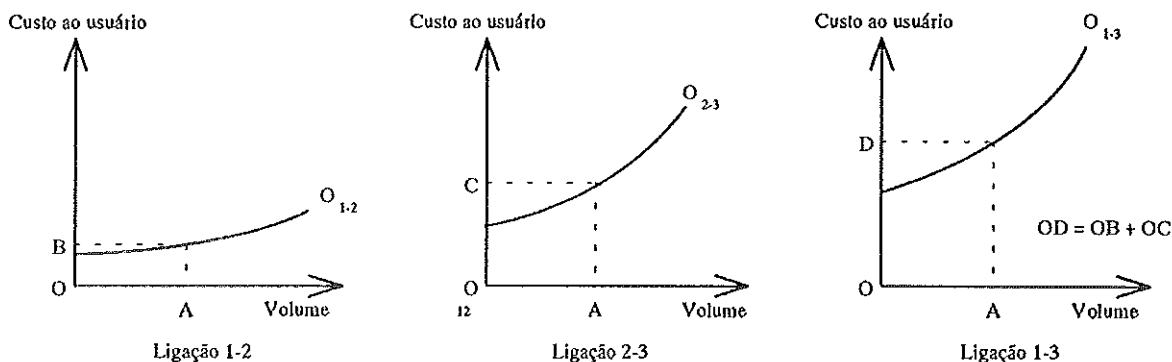
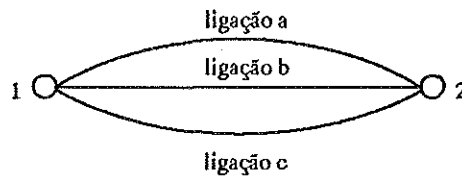


Figura 5.4: Curvas de oferta das ligações 1-2 e 2-3 e da ligação 1-3

No caso de agregação em paralelo, o sistema pode estar composto de diferentes ligações que constituem alternativas aos usuários (ou usuários em potencial) que desejem ir de uma origem para um destino. A figura abaixo mostra a origem 1 e destino 2 ligado por três vias alternativas. Neste caso, a função oferta é obtida somando-se as curvas horizontalmente como mostra a Figura 5.5. Matematicamente, tem-se:  $q_{12}(t) = q_a(t) + q_b(t) + q_c(t)$ .



Um custo total ao usuário, digamos  $C_4$ , é atingido na via a quando  $C$  volume de tráfego fluírem por ela. Nas vias  $b$  e  $c$ , os volumes de tráfego correspondentes àquele custo total ao usuário serão  $D$  e  $F$ , respectivamente. No conjunto, poderão trafegar  $C + D + F$  veículos por unidade de tempo nas vias  $a$ ,  $b$ , e  $c$  àquele custo.

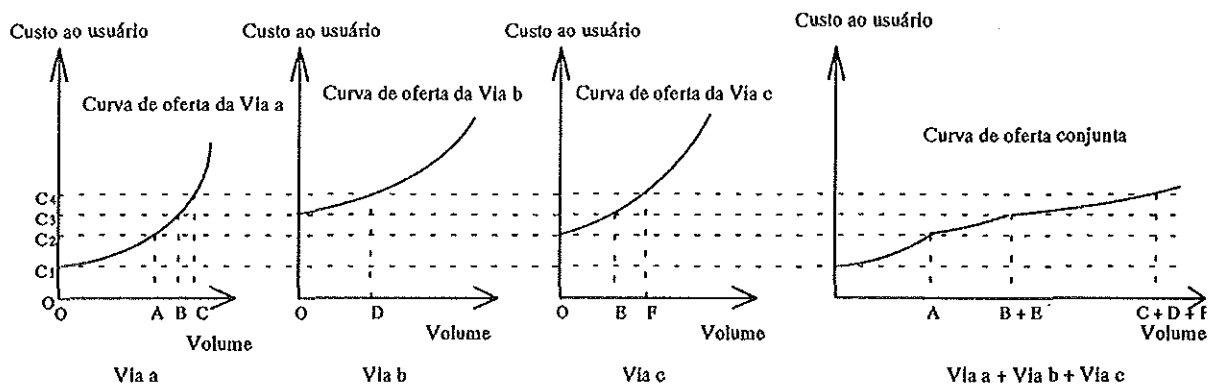


Figura 5.5: Oferta conjunta de três vias que servem a uma mesma ligação

#### 5.3.4. Nível de serviço

Conforme vimos anteriormente, uma função de oferta representa a maneira como o volume de tráfego afeta o custo monetário e o nível de serviço num ou mais componentes do sistema de transporte. Considerando-se que a curva de oferta é construída levando-se em conta os atributos do nível de serviço traduzidos em unidades monetárias, discutiremos brevemente o próprio nível de serviço e cada um de seus atributos.

O nível de serviço de transporte é definido como sendo um indicador da qualidade de serviço de transporte ofertado. Ele é avaliável através das reações de usuários, incluindo-se aí os potenciais, que se encontram na área de influência do transporte em questão. Como o nível de serviço é constituído de vários elementos quantificáveis e não quantificáveis, e é percebido pela sua conjunção, é difícil tratá-lo em termos de escala absoluta.

Alguns autores preferem considerar a tarifa um dos componentes do nível de serviço. No entanto, em nossa opinião ela não deve ser considerada como tal, pois o nível de serviço independe da tarifa. A tarifa é algo que se paga pelo serviço. Dizer que o nível de serviço depende da tarifa é equivalente a dizer que a qualidade do alimento depende do seu preço. A qualidade é

intrínseca ao produto ou serviço, enquanto que a tarifa é circunstancial porquanto depende da demanda, da oferta, do grau de concorrência e também do nível de subvenção ou de imposto incluído nela.

A seguir serão definidos e brevemente comentados os atributos do nível de serviço, sempre procurando ressaltar os aspectos ligados ao custo ao operador e ao usuário. Começaremos com os atributos do transporte de passageiros.

#### 5.3.4.1. Variáveis que determinam o nível de serviço em transporte de passageiros

- *Acessibilidade física.* É uma medida que representa a facilidade de acesso ao transporte. Este elemento é comumente traduzido em termos de distância ou tempo de acesso ao transporte motorizado ou a outras localidades. Para o transporte público, a acessibilidade pode ser medida em tempo de caminhada até a estação ou o ponto de parada do veículo que faz a linha desejada. Da mesma forma, para o transporte individual é o tempo de caminhada até o local onde fica estacionado o seu veículo. Alternativamente, a acessibilidade pode ser definida como a facilidade de ir a outras regiões, como por exemplo ao centro da cidade. Nesse caso, a acessibilidade não seria medido em termos de tempo até o transporte motorizado, mas sim em termos de tempo de viagem até o centro da cidade.
- *Frequência de serviço.* Refere-se ao número de viagens redondas efetuadas numa unidade de tempo, muitas vezes tratada indiretamente em termos de intervalo de tempo entre duas passagens sucessivas de veículos de uma mesma linha, por este ser o inverso daquele. É um dos elementos mais importantes do nível de serviço visto que reflete o volume de serviço ofertado por unidade de tempo. Além disso, ela determina o tempo médio de espera, conforme será visto mais adiante. No caso do transporte individual a frequência pode ser considerada infinita. Do ponto de vista do operador, maior frequência nos períodos entre picos significa maior gasto com os custos variáveis, durante esse período, na mesma proporção do aumento da frequência. Se a elevação da frequência se dá no período de pico, então haverá aumento tanto nos custos fixos, devido à aquisição ou aluguel de mais veículos e salário de motoristas e cobradores, por exemplo, como nos custos variáveis, por causa do maior consumo de combustível e outros itens de insumos variáveis com a distância percorrida.
- *Confiabilidade do serviço.* Em transporte de passageiros a confiabilidade pode ser entendida como sendo o cumprimento dos horários pré-fixados em cada ponto da linha. A falta de confiabilidade geralmente leva os usuários que têm compromisso com hora marcada a anteciparem a viagem para se prevenir contra eventual atraso. Como resultado disso, o usuário se vê obrigado a esperar pela hora marcada no destino. A confiabilidade do transporte público que usam vias exclusivas depende basicamente do nível de manutenção preventiva e da habilidade do motorista. No entanto, quando o transporte público não possui vias exclusivas, ele sofre também a influência do tráfego geral, das dimensões das vias, etc., que dificultam o controle deste elemento do nível de serviço. Isto é verdade também para o transporte individual.
- *Conforto.* O conceito de conforto é amplo e engloba tudo o que se refere ao bem estar do usuário em relação ao transporte e sua condição de operação. Com relação ao transporte público, os determinantes do conforto são: disponibilidade de assento, espaçamento entre assentos, solavancos, aceleração, variação da aceleração, ventilação, temperatura, etc. Dentre estes, Lago e outro (1980) consideram a disponibilidade de assento como sendo um dos elementos mais importantes, principalmente se a viagem é

longa ou demorada. A variável que sintetiza boa parte do conforto é o nível de lotação, pois ela é uma das responsáveis pelo calor, má ventilação, e viagem em pé. O conforto no transporte público de passageiros, assim como a confiabilidade, depende de diferentes esferas de decisão: autoridades locais, com relação às condições das vias, se o transporte é rodoviário; fabricantes de veículos ou chassi, no que diz respeito a espaçamento, maciez dos assentos, etc.; motoristas, na maneira de dirigir; e operador, quanto à política de operação. A atuação dos operadores no sentido de incrementar o conforto pode ser efetivada:

- instruindo os motoristas sobre a importância do modo de dirigir no conforto, procurando, na medida do possível, evitar as acelerações e freadas bruscas;
  - introduzindo número suficiente de veículos para se evitar a super-lotação.
- *Tempo de espera.* O tempo de espera é definido como sendo o intervalo de tempo entre a chegada do usuário numa estação ou no ponto de parada do transporte público e a passagem subsequente do ônibus, metrô, etc. Pode-se notar que o tempo de espera depende da frequência horária com que um determinado serviço é ofertado. Quanto maior for a frequência, menor é o tempo de espera. Supondo-se que usuários chegam à estação ou ao ponto de parada de forma aleatória, o tempo de espera médio é a metade do intervalo entre passagens sucessivas de veículos daquela linha. Entretanto, quando a frequência é relativamente pequena, os usuários passam a se preocupar com os horários do transporte coletivo, com o intuito de reduzir o tempo de espera. Assim Pecknold e outros (1972) apresentaram as seguintes expressões para estimar o tempo de espera em função da frequência:

$$t_w = \begin{cases} 0,5 I & \text{para } 0 \leq I < 18,3 \text{ min} \\ 5,5 + 0,2 I & \text{para } I \geq 18,3 \text{ min} \end{cases}$$

onde  $I$  é o intervalo entre passagens sucessivas de veículos de uma linha de transporte público. Do ponto de vista do operador, menor tempo de espera aos usuários significa maior frequência. No caso de transporte individual, o tempo de espera pode ser considerado nulo, ou substituído pelo tempo de manobra do veículo para tirá-lo da garagem.

- *Tempo no interior do veículo.* É o intervalo de tempo compreendido entre o instante em que o usuário embarca no veículo e o instante de seu desembarque. É considerado por alguns autores como sendo o parâmetro mais importante do nível de serviço. No entanto, sabe-se que a "duração percebida" depende muito do conforto durante a viagem.
- *Transferência.* É a transferência de um veículo para outro, sejam de mesma modalidade ou de modalidades diferentes. Além de interromper e prolongar a viagem, expõe os usuários a certo desconforto e gasto adicional. Nas cidades de até aproximadamente 100.000 habitantes, a transferência é pouco utilizada, em primeiro lugar porque as viagens têm extensão relativamente curta, e em segundo lugar, porque uma boa parcela das viagens são radiais. No entanto, à medida que o tamanho da cidade aumenta, cresce a necessidade de fazer uma ou mais transferências.
- *Tempo total de viagem.* É definido como sendo o intervalo de tempo decorrido entre a origem e o destino (duração da viagem porta a porta). Ele engloba os seguintes tempos parciais:

- a) tempo de acesso ao transporte motorizado;
  - b) tempo de espera;
  - c) tempo no interior do veículo;
  - d) caminhada até o destino; e
  - e) transferência.
- *Amenidades nos veículos e nos pontos de parada/estações.* É um elemento que inclui uma grande variedade de fatores tais como asseio, facilidade de embarque e desembarque, proteção contra intempéries, etc.
  - *Fluidez no movimento.* Representa viagens sem muitas interrupções. Ela depende das dimensões e qualidade das vias, do volume de tráfego, do nível de manutenção dos veículos e também da habilidade dos motoristas.
  - *Segurança.* É um fator indicado pela probabilidade de ocorrer acidentes. Esta probabilidade pode ser reduzida atuando-se em várias frentes: a) manutenção dos veículos, principalmente fazendo-a preventivamente; b) manutenção das vias, corrigindo as deformações nos pavimentos e tapando os buracos, tão logo eles apareçam; c) manutenção da sinalização, repintando os sinais, ou evitando que galhos e folhagens de plantas cresçam e tirem a visibilidade das placas de sinalização; d) recrutamento de bons motoristas, e evitando que eles trabalhem muitas horas seguidas, etc. Evidentemente, tudo isto reflete no custo. Uma parcela dos custos é responsabilidade do poder público (manutenção da sinalização e das rodovias urbanas ou rurais, por exemplo), e a outra parte cabe ao operador.

#### 5.3.4.2. Variáveis que determinam o nível de serviço e custo no transporte de carga

Ao contrário do transporte de passageiros, onde muitas vezes predominam os custos subjetivos tais como tempo de viagem, conforto, segurança, etc., no transporte de carga predominam os custos monetários, principalmente porque a maioria das variáveis podem ser associadas ao custo monetários, e porque os próprios usuários fazem isso. O motivo principal para se agir dessa forma é que, por via de regra, o transporte de carga envolve uma grande soma de recursos.

- *Confiabilidade.* Refere-se à qualidade de realizar o transporte dentro do prazo e das condições previamente estabelecidas, preservando a integridade da carga. Note que mesmo que a carga esteja segura contra perdas e danos, a sua ocorrência pode provocar atrasos na produção ou no consumo. Para um produtor, a confiabilidade é sinônimo de menor custo de estoque, uma vez que poderá mantê-lo em nível mínimo.
- *Frequência.* A frequência é outro elemento que permite reduzir o nível de estoque, reduzindo os custos de estocagem e do capital imobilizado. No caso de transporte de produtos perecíveis, a frequência tem reflexo na qualidade do produto entregue ao consumidor. Se a frequência é pequena, o produto necessariamente fica estocado em câmaras frigoríficas, e acaba perdendo um pouco da qualidade. No entanto, a frequência tem relação direta com o custo do operador. Se a tecnologia de transporte usada permite ter economia de escala, do ponto de vista do custo direto de transporte, seria mais interessante transportar com pequena frequência.
- *Tempo total de viagem.* Geralmente é dividido em duas parcelas: tempo em trânsito e tempo em terminal, para carregamento e descarregamento das cargas. Para o usuário,



esse item é sempre importante, mas a sua importância é particularmente grande em três situações básicas: entregas urgentes, transporte de produtos perecíveis, e transporte de produtos de alto valor unitário. As duas primeiras situações são mais ou menos óbvias. Quanto à terceira, o tempo passa a ser importante porque o tempo de viagem representa o tempo em que uma soma considerável de recurso fica em trânsito, sem render os juros que poderiam estar rendendo, caso esse produto fosse entregue imediatamente, e o dinheiro empastado na mercadoria fosse aplicado no mercado financeiro ou em outra atividade rentável.

- *Tempo e volume de armazenagem.* O tempo de armazenagem pode afetar a qualidade do produto quando este for perecível. Mas além disso, a combinação do tempo e volume de armazenagem tem considerável impacto no custo do usuário de transporte. A armazenagem de um produto é necessária quando a produção ou a colheita ocorre num ritmo diferente em relação ao transporte. Ele pode também ser necessário quando a carga é produzida por diferentes produtores e o transporte é realizado por um único operador. Nesse caso haveria um armazém comum (geralmente num terminal, como porto ou aeroporto) visando a consolidação de cargas. Dessa forma, independente de se o armazém pertence ou não ao usuário, ele incorre ao custo deste item.
- *Tempo e volume de estoque.* No contexto de transporte, a armazenagem visa basicamente o ajuste do fluxo de produto às condições de transporte, enquanto que o estoque tem como objetivo regularizar o fluxo de insumos nos processos produtivos, sejam eles industriais ou comerciais. As fábricas usualmente mantêm estoques de insumos porque a falta de alguns desses insumos, provocada pelo atraso na entrega, pode parar a fábrica e trazer grandes prejuízos. Razões semelhantes levam comerciantes a estocar produtos, pois a falta de produto na loja o faz perder a oportunidade de venda, além de perder os fregueses em potencial. Este item também é traduzido em termos de custo do estoque, que tem dois componentes: um deles é a mercadoria imobilizada; e o outro é o custo de prover espaço para a formação de estoque.
- *Preservabilidade.* Pode ser importante para alguns tipos de mercadorias. Está relacionada ao risco de deterioração da mercadoria enquanto está em trânsito. Para bens perecíveis, ocorrerá deterioração a uma certa taxa, que depende da maneira como o produto é embalado e transportado. Por exemplo, frutos transportados num caminhão frigorífico deterioram a uma taxa bem menor se comparado ao transporte em caminhão comum. Conseqüentemente, o transporte em caminhão frigorífico equivale à redução no custo total de transporte. Por outro lado, o custo operacional do veículo será maior devido aos custos de instalação e operação do sistema de refrigeração.
- *Perdas e roubos.* O caso de perda está relacionado à perda intrínseca ao produto e ao tipo de acondicionamento da carga. A perda intrínseca ao produto é, por exemplo, a perda de peso dos produtos agro-pecuários durante o transporte. Animais assustados se alimentam mal e se desidratam consideravelmente; alguns produtos agrícolas desidratam-se com relativa facilidade. Para citar um exemplo, segundo informação da Associação dos Fornecedores de Cana de Araraquara, a perda de peso da cana de açúcar ocorre a uma taxa de 0,17% por hora após cortada. Quanto aos tipos de acondicionamento, ele pode influir na perda durante o transporte, durante a carga e descarga, e nos armazéns. O tipo de acondicionamento mais seguro é o contenedor. E talvez o tipo menos seguro seja o de transporte a granel. Os tipos intermediários, tais como acondicionamento em sacos, diminui a quantidade de perda durante a operação de carga e descarga, mas perde-se muito nos armazéns, principalmente devido a ação dos

animais roedores sobre grãos (milho, arroz, trigo, feijão, soja, etc) e derivados (farinhas, fubá, etc.). Roubo de cargas podem ocorrer em trânsito, em terminais ou em armazéns. Ao contrário das perdas acima mencionadas, cuja magnitude é geralmente limitada e previsível, o roubo pode envolver a perda da totalidade de cargas como muitas vezes ocorrem nas estradas brasileiras. Os usuários geralmente acabam pagando a conta, seja fazendo seguro contra roubo, seja assumindo as perdas.

É importante notar que nem todos os atributos do nível de serviço acima enumerados são relevantes, em todos os casos. Na realidade, devemos tentar simplificar ao máximo a análise incluindo apenas os atributos que são relevantes ao problema em questão. Além do mais, existem alguns atributos que são difíceis de serem medidos adequadamente ou que não mudam significativamente no contexto da análise.

#### 5.4. Relação entre atributos do nível de serviço e custo em transporte de passageiros

Apresentam-se, a seguir, o processo de construção de curvas de oferta e aplicação a alguns casos. Dado que os casos mais complexos são os de transporte coletivo de passageiros com serviços regulares, vamos mostrar a relação existente entre nível de serviço e custo numa rota, através do caso de transporte urbano por tróleibus. A função custo adotada é composta de quatro variáveis: quilometragem percorrida, horas de veículos em operação, número de veículos alocados à rota, e o comprimento da rota. A última variável foi considerada na função visto que, no caso de tróleibus, além de todos os itens de custo a que um ônibus a diesel incorre, existe também o custo de implantação e manutenção das linhas elétricas aéreas. A função custo, conforme foi vista no capítulo anterior, tem a seguinte forma.

$$C = a \cdot Q + b \cdot H + c \cdot N + d \cdot L \quad (5.1)$$

- onde:
- C - custo total da rota por dia;
  - Q - quilometragem percorrida por dia, pelos veículos alocados a uma rota;
  - H - horas de operação de veículos na rota por dia;
  - N - Número de veículos alocados à rota;
  - L - Comprimento da rota (ida + volta);
- a, b, c, d - custos correspondentes a cada uma das variáveis.

É importante observar que a relação a ser obtida não faz ligação direta de todos os atributos do nível de serviço com o custo, principalmente porque o ponto de vista adotado aqui foi o do operador de transporte, e portanto foram considerados apenas os atributos do nível de serviço que afetam o custo do operador. Todavia, de uma forma ou de outra, esses custos são repassados ao usuários através de tarifa.

##### 5.4.1. Número de veículos alocados para a rota na hora pico

O número de veículos na rota é estabelecido de maneira a satisfazer o nível de serviço mínimo, obedecendo a duas condições básicas: frequência mínima e fator de lotação máxima. Partindo-se do princípio de que a capacidade horária ofertada deve ser pelo menos igual à demanda horária do trecho mais carregado, deve-se fixar um fator de lotação máxima ( $\lambda_{max}$ ), em função do qual a frequência é calculada. A fixação desse máximo faz parte da política operacional da empresa. Observou-se, em Araraquara (ver Kawamoto, 1984), que quando o

fator de lotação ultrapassa 85% da capacidade nominal dos veículos (todos os ônibus vêm com a indicação da capacidade - x sentados + y em pé) a insatisfação dos usuários aumenta acentuadamente. Assim, a frequência na hora pico é determinada segundo Equação 5.2.

$$f_p = \frac{F_{máxpico}}{\lambda_{máxpico} \cdot Cap} \quad (5.2)$$

onde:  $F_{máxpico}$  - fluxo de passageiros no trecho mais carregado da rota (passageiros/h);

$\lambda_{máxpico}$  - fator de lotação máxima adotado para a hora pico;

Cap - Capacidade nominal do veículo (passageiros).

O número de veículos necessários na rota é calculado em função da frequência ( $f_p$ ), e tempo gasto por um ônibus dar uma volta completa na rota durante a hora pico ( $t_{cp}$ ). Aí está incluído também o tempo em que o veículo fica parado nos pontos inicial e final para alguma verificação.

$$N_p = f_p \cdot t_{cp} \quad \text{ou} \quad N_p = \frac{F_{máxpico}}{\lambda_{máxpico} \cdot Cap} \cdot t_{cp} \quad (5.3)$$

onde:  $N_p$  - número de veículos necessários na rota (veículos);

$f_p$  - frequência na hora pico (veíc./h);

$t_{cp}$  - tempo de ciclo na hora pico (h).

#### 5.4.2. Quilometragem percorrida pelos veículos da rota

A quilometragem percorrida pelos veículos alocados à rota depende da frequência e do comprimento total (ida e volta) da rota. A frequência indica o número de voltas completas realizadas pelos veículos por hora de operação. Portanto, a distância total percorrida é determinada pelo produto entre a frequência e o comprimento da rota.

$$q = f \cdot L \quad (5.4)$$

onde:  $q$  - quilometragem percorrida pelos veículos alocados à rota, em uma hora (km/h);

$f$  - frequência horária de serviço (veíc./h);

$L$  - comprimento da rota (ida + volta) em km.

A frequência horária para os períodos entre picos, é calculada de maneira similar à da hora pico, levando-se em conta o fluxo de passageiros no trecho mais carregado da rota. Uma consideração adicional é que o fator de carregamento admitido para os horários fora do pico é geralmente menor do que o da hora pico.

O cálculo da distância total ( $Q$ ) percorrida em um dia de operação é feita distinguindo-se as horas do dia em que são praticadas as mesmas frequências, digamos  $f_i$ . Conta-se o número  $n_i$  de horas em que ocorre essa frequência. Conhecendo-se o comprimento da rota, pode-se aplicar a Equação 5.5 para calcular a quilometragem percorrida num dia.

$$Q = L \cdot \sum_i n_i \cdot f_i \quad (5.5)$$

onde:  $Q$  - distância total percorrida por dia, pelos veículos alocados à rota;

- $f_i$  - frequência de classe  $i$   
 $n_i$  - número de horas por dia em que a operação é feita com a frequência  $f_i$ ;  
 $L$  - comprimento total da rota (ida + volta).

### 5.4.3. Horas de veículos em operação

Também neste caso o cálculo é imediato. Se em uma hora os veículos realizam  $f$  voltas completas, e se em cada volta completa se gasta  $t_c$ , então o produto de  $f$  por  $t_c$  fornece o número de horas de veículos em operação por hora.

$$h = f \cdot t_c \quad (5.6)$$

- onde:  $h$  - horas de veículos em operação por hora (veíc.h/h);  
 $f$  - frequência horária (veíc./h);  
 $t_c$  - tempo de ciclo (h).

A quantidade de horas de veículos em operação, por dia, ( $H$ ) é calculada de maneira semelhante à da quilometragem diária. O cuidado adicional que deve ser tomado aqui é com relação ao tempo gasto por veículos para dar um volta completa, que pode ser diferente ao longo do dia, a menos que exista faixa exclusiva para ônibus, pois o valor pode ser bastante influenciado pelo tráfego. Provavelmente, o tempo de ciclo nas horas de pico é maior do que nas horas entre picos. Assim, é aconselhável que para cada período abarcado por uma frequência seja obtido um tempo de ciclo. A Equação 5.7 fornece a quantidade de veículo.hora por dia.

$$H = \sum_i n_i \cdot f_i \cdot t_{ci} \quad (5.7)$$

- onde:  $H$  - horas de veículos em operação na rota por dia;  
 $f_i$  - frequência de classe  $i$   
 $n_i$  - número de horas por dia em que a operação é feita com a frequência  $f_i$ ;  
 $t_{ci}$  - tempo de ciclo no período em que é adotada a frequência  $f_i$ .

### 5.4.4. Custo em função de alguns atributos do nível de serviço

A relação entre os atributos de nível de serviço e o custo será obtida substituindo-se as Equações (5.3), (5.5) e (5.7) na Equação (5.1). Observe-se que vários atributos do nível de serviço estão explícita ou implicitamente presentes na expressão abaixo. Na realidade, a frequência sintetiza uma parte considerável do nível de serviço. Conforme vimos nas seções anteriores, a frequência para cada período é determinada em função do fator de lotação, que está relacionado ao conforto do usuário. Além disso, ela está diretamente relacionada ao tempo médio de espera no ponto de ônibus. Finalmente, o tempo de ciclo é uma função da velocidade operacional e do tempo gasto com paradas nos pontos de ônibus. Quanto maior for essa velocidade menor será o tempo total de viagem do usuário.

$$C = a \cdot L \cdot \sum_i n_i \cdot f_i + b \cdot \sum_i n_i \cdot f_i \cdot t_{ci} + c \cdot f_p \cdot t_{cp} + d \cdot L \quad (5.8)$$

- onde:  $C$  - custo monetário total da rota por dia;

- $f_i$  - frequência de classe  $i$   
 $n_i$  - número de horas por dia em que a operação é feita com a frequência  $f_i$ ;  
 $L$  - comprimento da rota (ida + volta) em km;  
 $t_a$  - tempo de ciclo no período em que é adotada a frequência  $f_i$ .  
 $f_p$  - frequência na hora pico (veíc./h);  
 $t_{cp}$  - tempo de ciclo na hora pico (h).  
 $a, b, c, d$  - custos correspondentes a cada uma das variáveis.

Este é o custo do operador. O custo repassado ao usuário depende muito do esquema de cobertura de custo e o modelo de tarifação adotado de comum acordo entre o poder concedente (que geralmente é a prefeitura municipal) e a concessionária (empresa operadora) do serviço de transporte. O repasse do custo ao usuário é feito na forma de tarifa. Além deste custo, o usuário está sujeito a outros custos, tais como tempo de acesso, tempo de espera, etc., que foram comentados na seção 5.3. A vantagem de uma função custo do operador, descrita em termos de atributos que afetam o nível de serviço, está na possibilidade de analisar simultaneamente o custo ao operador e os custos parciais que compõem o custo ao usuário.

### 5.5. Relação entre atributos do nível de serviço e o custo de transporte de carga

Para ilustrar a interação entre alguns dos atributos de nível de serviço apresentados na Seção 5.3.4.2, vamos considerar a seguinte situação: uma empresa requer um total de  $P$  toneladas de certa mercadoria por ano. A empresa pode escolher entre aumentar a frequência e diminuir a quantidade de transporte por viagem, ou vice versa. Consideremos que o custo fixo por pedido seja de  $h$  e que a frequência seja de  $f$  viagens por ano. O volume de transporte por viagem será, portanto, de  $S = P/f$ . O custo de estoque por tonelada e por unidade de tempo é de  $w$ . A Figura 5.6 mostra o nível médio de estoque que a empresa precisa manter para um dado valor de  $f$ . Pode-se notar que o nível médio de estoque é:  $L = P/2f$ .

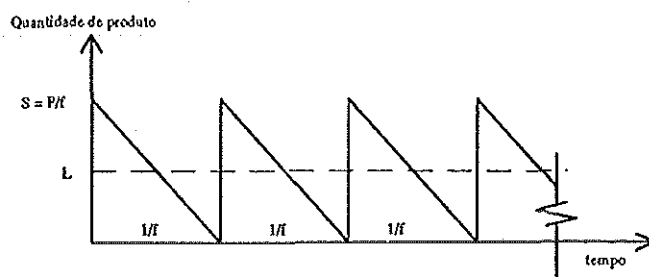


Figura 5.6: Nível médio de estoque com transporte regular

Portanto, o custo total de estoque é dado por:

$$W = w \cdot L = wP/2f$$

A empresa pode então escolher entre grande volume transportado em poucas vezes ou volumes menores transportados mais frequentemente. No segundo caso, o custo fixo por pedido pode onerar o custo. A combinação ótima pode ser obtida minimizando a soma  $M$ , isto é, o custo de estocagem mais o custo fixo por pedido.

$$M = wP/2f + hf$$

onde:  $h$  = custo fixo por pedido

Derivando  $M$  em relação a  $f$ , e igualando a zero, encontra-se o valor  $f^*$  que minimiza  $M$  e a quantidade ótima  $S^*$  de transporte por vez:

$$f^* = \sqrt{wP/2h}$$

$$S^* = \sqrt{2hP/w}$$

Para os quais o custo  $M$  fica:  $M^* = \sqrt{hwP/2}$

Deve-se notar que este modelo representa apenas a melhor combinação entre a frequência e o custo de estocagem. Na realidade, outras considerações podem influenciar a escolha da quantidade transportada por vez, tais como a tecnologia utilizada, o custo por quilômetro, e outras variáveis do nível de serviço. De qualquer forma, para esses custos de estocagem e de pedido, podemos escrever a equação do custo total anual, cujo primeiro termo é o custo de transporte, o segundo representa o custo da mercadoria em trânsito, o terceiro corresponde a perdas, e o último é o custo de estocagem e de pedido.

$$C = a \cdot Q \cdot P + S \cdot f \cdot t \cdot i / 3000 + v \cdot p \cdot P / 100 + \sqrt{whP/2} \quad \text{ou}$$

$$C = a \cdot D \cdot P + P \cdot v \cdot t \cdot i / 3000 + p \cdot P \cdot v / 100 + \sqrt{whP/2} \quad (5.9)$$

onde:

- a custo por tonelada-quilômetro, estabelecido pela transportadora, onde evidentemente está incluído o custo de equipamentos especiais necessários na preservação da carga, quando for o caso. Também estão incluídos o seguro contra roubos e o custo de retorno.
- Q quilometragem percorrida pela frota no ano;
- D distância de viagem - apenas ida (km);
- P peso da carga transportada anualmente (t);
- S Peso da carga transportada por viagem (t);
- f frequência de viagens por ano;
- v valor da mercadoria por tonelada;
- t tempo total de viagem - apenas ida (em dias);
- i taxa paga no mercado financeiro para aplicação do dinheiro equivalente ao valor em trânsito (%);
- p perdas em peso (%);

Além desses custos que acabamos de ver, existe um outro que corresponde ao custo de estoque de segurança. É o estoque que visa cobrir o eventual atraso na entrega da mercadoria. Ao fazer a análise do estoque médio, consideramos que os carregamentos chegam a intervalos regulares de  $1/f$ . No entanto, o transporte pode não ser tão regular, principalmente nas viagens de longa distância. Várias podem ser as razões: problemas mecânicos, má conservação das vias,

intempéries, etc. Note-se que qualquer atraso na chegada de um carregamento no esquema da Figura 5.7 provoca a descontinuidade na atividade, seja de fabricação seja de venda. Para evitar essas surpresas desagradáveis é que as empresas mantêm estoque de segurança.

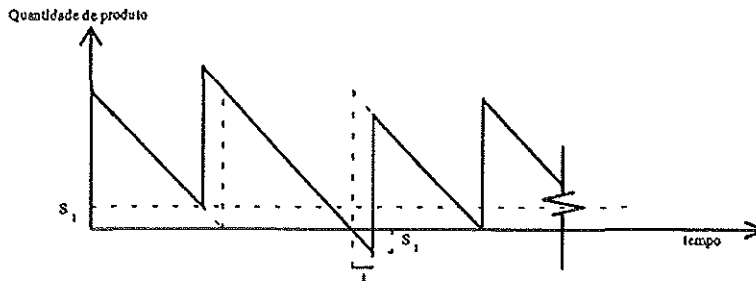


Figura 5.7: O efeito do atraso do transporte no nível de estoque

A Figura 5.7 mostra como o atraso na chegada de um carregamento afeta a empresa e como ela pode evitar o problema. No primeiro período o carregamento chegou antes do tempo previsto (linha pontilhada). No segundo, o carregamento chegou com atraso de  $t$  dias. Se a média ( $T$ ) e o desvio padrão ( $\sigma$ ) do tempo total de viagem são conhecidos, então o nível de estoque de segurança pode ser calculado levando-se em conta o seguinte fato:

68,3 % dos tempos de viagem estão no intervalo entre  $(T-\sigma, T+\sigma)$ ;

95,0 % dos tempos de viagem estão no intervalo entre  $(T-2\sigma, T+2\sigma)$ ;

99,7 % dos tempos de viagem estão no intervalo entre  $(T-3\sigma, T+3\sigma)$ ;

ou podemos dizer que:

84,2 % dos tempos de viagem têm duração menor do que  $T+\sigma$ ;

97,5 % dos tempos de viagem têm duração menor do que  $T+2\sigma$ ;

99,9 % dos tempos de viagem têm duração menor do que  $T+3\sigma$

Por exemplo, se admitirmos que apenas uma vez em 1000 viagens pode ocorrer atraso que prejudique a empresa, devemos adotar o estoque de segurança correspondente a  $t = 3\sigma$ . O nível de estoque poderá ser calculado usando a regra de três:

$P$  é consumido em  $A$  dias do ano, assim como  $S_1$  é consumido em  $3\sigma$  dias (ou fração de dia).

Dai temos:  $S_1 = 3\sigma P/A$ . Se ao invés de  $3\sigma$  adotarmos  $2\sigma$ , estatisticamente 2,5 viagens a cada 100 chegará com atraso tal que o nível de estoque não será suficiente para dar continuidade à produção. De uma maneira geral, podemos expressar o nível de estoque de segurança na forma de Equação (5.10).

$$S_1 = k\sigma P/A \quad (5.10)$$

onde:

$S_1$  é o nível de estoque de segurança;

$k$  é uma constante que depende da segurança desejada;

$\sigma$  desvio padrão do tempo de transporte;

$P$  tonelagem de mercadoria demandada por ano;

A número de dias operados por ano pela empresa.

Finalmente, podemos acrescentar este ítem ao custo representado pela Equação (5.9)

$$C = a.D.P + P.v.t.i/3000 + p.P.v/100 + \sqrt{whP/2} + w.k.\sigma.P/A \quad (5.11)$$

a custo por tonelada-quilômetro, estabelecido pela transportadora, onde evidentemente está incluído o custo de equipamentos especiais necessários na preservação da carga, quando for o caso. Também estão incluídos o seguro contra roubos e o custo de retorno.

D distância de viagem - apenas ida (km);

P peso da carga transportada anualmente (t);

v valor da mercadoria por tonelada;

t tempo total de viagem - apenas ida (em dias);

i taxa paga no mercado financeiro para aplicação do dinheiro equivalente ao valor em trânsito (%);

p perdas em peso (%)

k é uma constante que depende da segurança desejada;

$\sigma$  desvio padrão do tempo de transporte;

A número de dias operados por ano pela empresa.

## 5.6. Funções de oferta selecionadas

Ao analisar a morfologia das funções oferta de transporte, nota-se que é possível distinguir o transporte de três maneiras fundamentais. A primeira é a distinção entre passageiros e cargas. A segunda é a distinção entre transporte urbano (local) e regional. E a terceira é a distinção entre transporte individual e coletivo. Estas distinções são importantes porque elas levam a funções de oferta essencialmente diferentes. A primeira distinção é evidente, pois as maneiras como os atributos de nível de serviço são percebidos e quantificados diferem. No caso de transporte de cargas, a conversão dos atributos do nível de serviço em custos monetários é consideravelmente mais simples do que no caso de transporte de passageiros. A distinção entre transporte urbano e regional é útil porque as magnitudes das variáveis relevantes de oferta diferem significativamente. Atributos que podem ser importantes no transporte urbano podem ser insignificantes ao transporte regional, onde distâncias de viagem são bem maiores e as viagens ocorrem com menor frequência. A distinção entre modos de transporte individual e coletivo é também importante porque a evolução da oferta difere significativamente. No caso de transporte individual, o operador é o próprio usuário, enquanto que no caso de transporte coletivo eles são entidades distintas. Dessa forma, ao estruturar a função oferta para o caso de transporte individual, podemos analisar diretamente a relação entre o ofertante e o usuário, ao passo que no caso de transporte coletivo existe a influência intermediária do operador que deve ser levado em consideração. Um exemplo disso é o horário. O operador é obrigado a estabelecer e cumprir um determinado horário, pois só assim consegue servir a um número grande de usuários. Um usuário de automóvel pode viajar no instante que lhe convier.

Usando estas três distinções, obtemos uma classificação simples para propósito de análise de oferta. Essa classificação é apresentada na Figura 5.8.



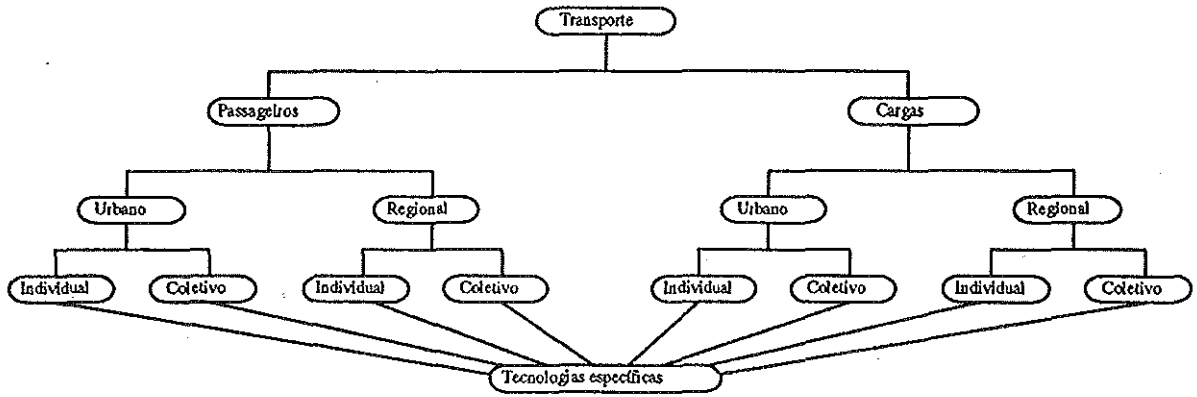


Figura 5.8: Classificação da oferta de acordo com o tipo de transporte

Para cada um dos ramos da classificação podem ser consideradas várias tecnologias específicas. Embora difiram em tecnologia e, conseqüentemente, em parâmetros tecnológicos e operacionais, elas compartilharão da mesma estrutura. A seguir analisaremos as funções de oferta correspondentes a alguns desse tipos de transporte.

5.6.1. Função oferta do transporte urbano individual

Inicialmente vamos considerar uma rodovia urbana conectando uma zona de origem a uma zona de destino. Ela serve a tráfego de automóvel e ao sistema de transporte por ônibus. Para cada um desses dois modos, podemos desenvolver uma função oferta da ligação e então agregá-las para obter a função de oferta do sistema para a rodovia. No caso do modo automóvel, estamos interessados na função custo médio percebido pelo usuário. Para se construir essa função seguiremos a hierarquia funcional discutido no final da Seção 5.2. Em primeiro lugar, identificaremos os agentes envolvidos na liberação e uso do transporte em questão. Identificamos um ofertante que neste caso é a prefeitura municipal que é a responsável pela construção e manutenção da infra-estrutura rodoviária urbana. O operador e o usuário nesse caso são a mesma pessoa. A regulamentação sobre a manutenção de uma condição operacional específica sobre as vias (limites de velocidade, sinalização, etc.), é também feita pela prefeitura.

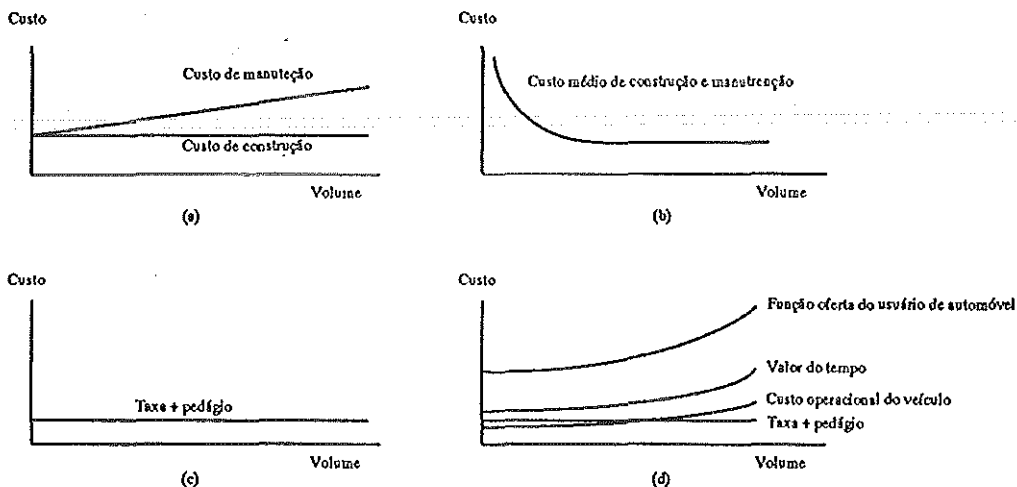


Figura 5.9: Função oferta de rodovia urbana. (a) custo do ofertante; (b) custo médio do ofertante; (c) custo coberto pela taxa; (d) função oferta do usuário de automóvel

Começando pelo ofertante, identificamos a função custo do ofertante que é o custo total de implantação das vias. Convertemo-lo ao custo anual equivalente aplicando os conceitos de matemática financeira e adotando uma vida útil para infra-estrutura. A este custo deve ser adicionado o custo de manutenção, que pode depender do volume de tráfego que usa a via. Figura 5.9a mostra uma função custo típica para tal caso. O custo total linear sugere que não há nenhuma economia de escala na construção e manutenção de rodovias urbanas (Segundo Keeler e Small). A função custo total é então convertida numa função custo médio, conforme mostrada na Figura 5.9b. O esquema de cobertura do custo deve estar definido a fim de transformar o custo do ofertante num custo ao usuário. Normalmente existem dois tipos de esquemas usados na cobertura de custo no transporte urbano por automóvel: um direto e outro indireto. O primeiro é na forma de pedágio pago pelo usuário, e o segundo na forma de taxa. Ambos podem ser usados simultaneamente. Nas cidades brasileiras não há pedágios urbanos. Geralmente a pavimentação das vias públicas secundárias (pois a rua é aberta na implantação do loteamento) é geralmente feita às custas dos próprios moradores. Quanto à manutenção das vias públicas urbanas, ela é feita com o dinheiro arrecadado através do Imposto Predial e Territorial Urbano. Do ponto de vista do usuário, esse custo não está relacionado com o uso do veículo no espaço urbano. Todos os moradores da cidade incorrem neste custo. Mas, para manter a função bem geral, podemos considerar que o custo corresponde a uma taxa (por exemplo, a que está embutida no preço dos combustíveis, que são repassadas às prefeituras) e o pedágio (quando for o caso), como mostra a Figura 5.9c. *Porém, certamente o usuário de automóvel percebe apenas o custo de pedágio.*

Ao custo da via deve ser adicionado o custo da operação do veículo sobre a via. O primeiro é o custo de operação do veículo. Este é um componente que varia com o volume de tráfego como mostra a Figura 5.9d. O custo monetário da operação é crescente com o volume de tráfego porque à medida que este aumenta, cresce a interferência entre veículos, que culmina em congestionamento. É importante lembrar que apenas devem ser considerados os custos efetivamente percebidos pelo usuário. O outro componente a ser adicionado é o valor do tempo e do desconforto e inconveniência associados à viagem. A relação entre esses elementos e o volume de tráfego é também mostrada na Figura 5.9d. A explicação dada ao aumento do custo monetário da operação com o volume de tráfego serve também para este caso. A função oferta do usuário de automóvel, mostrada na Figura 5.9d, representa a adição dos três principais componentes do custo médio ao usuário: taxas e pedágio, custo operacional do veículo e o valor do tempo de viagem. Essa função de oferta seria então a função oferta de um ligação no curto prazo, pois não foi considerada a expansão da infra-estrutura. A Figura 5.10 mostra uma função oferta a longo prazo, que incorpora os efeitos do incremento da capacidade da rodovia através do aumento do número de faixas de tráfego. A curva de oferta correspondente a cada capacidade é obtida da mesma maneira. A envoltória das três curvas é a curva de oferta a longo prazo. O critério adotado para decidir pela expansão da capacidade é o custo ao usuário.

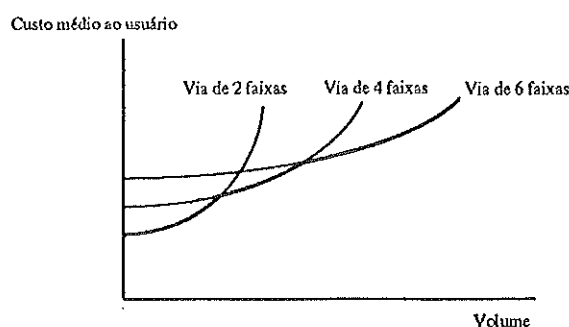


Figura 5.10: Função oferta de longo prazo para um usuário de automóvel

### 5.6.2. Função oferta de transporte urbano por ônibus

A construção de uma função oferta para serviço de ônibus é consideravelmente mais complexa do que para o transporte individual. Pois, além do comportamento dos usuários existe a influência do comportamento do operador, que a qualquer nível de tráfego tem diante de si inúmeras opções operacionais relativas ao tamanho da frota, frequência de serviço, e o espaçamento entre pontos de parada. O comportamento do operador de transporte coletivo não foi muito bem estudado até o momento. Isso nos obriga a fazer várias suposições simplificadoras.

Para construir a função oferta, para o mesmo trecho da rodovia tratado na seção anterior, vamos começar identificando os agentes. Como no caso anterior, o ofertante pode ser a prefeitura municipal. O operador pode ser uma empresa pública ou privada de transporte por ônibus. A regulamentação do transporte urbano por ônibus, no caso das cidade brasileiras, é também feita pela prefeitura municipal, principalmente na concessão do serviço e no controle da tarifa. Os usuários são aqueles que viajam de ônibus.

O custo do ofertante é o mesmo do caso anterior. Na prática, é possível que o custo de manutenção da via aumente devido ao maior peso do ônibus. Usualmente, ao representar a função custo associada ao ônibus, adota-se o fator que varia de 1.2 a 2.0 para converter seu custo em equivalente ao custo associado ao automóvel. A cobertura do custo do ofertante depende do tipo de empresa que tiver a concessão do serviço. Se a empresa for privada, é possível que ela não fique isenta de taxas e pedágios (quando for o caso). Por outro lado, se a concessionária for uma empresa pública possivelmente estará isenta desses encargos, o que é uma forma de subsídio indireto. Além disso, a empresa pública pode ter subsídio direto e outras formas de subsídios indiretos. Para representar a forma geral da função de oferta vamos supor que a empresa pague as taxas e pedágios. Analogamente ao caso anterior podemos considerar, para simplicidade, que este componente do custo seja fixo.

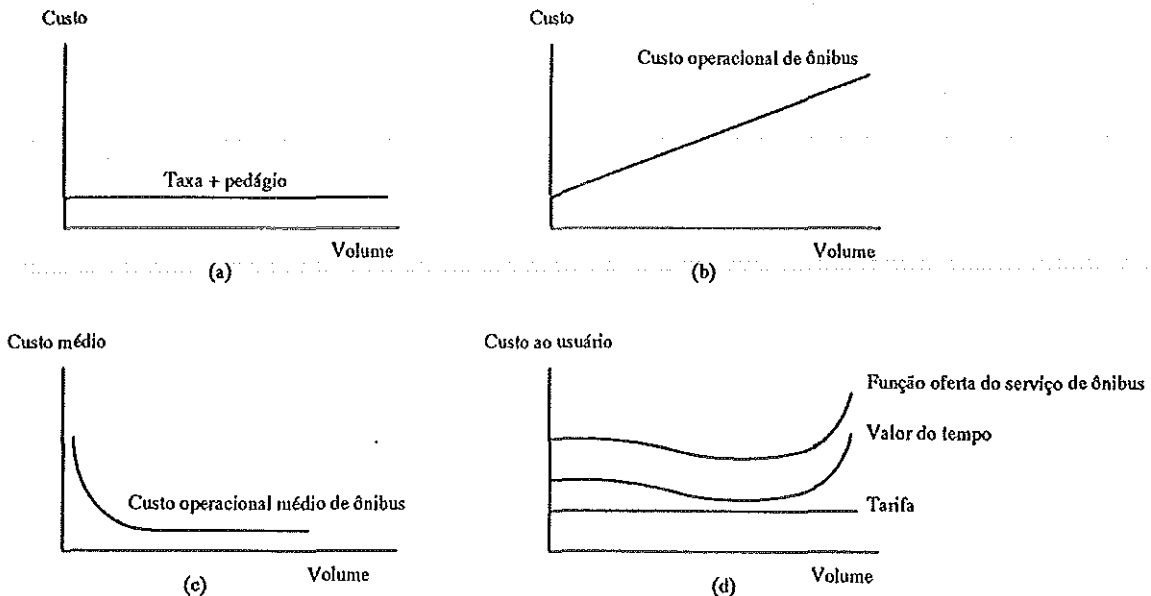


Figura 5.11: Oferta de serviço de ônibus urbano. (a) Custo da via; (b) Custo operacional de ônibus; (c) Custo operacional médio de ônibus; (d) Função oferta de um usuário de ônibus.

O passo seguinte é adicionar o custo operacional do ônibus em si, incluindo os custos fixos e variáveis. Para uma análise mais acurada, é conveniente fazer distinção entre custos de curto, médio e longo prazos. No curto prazo, conforme vimos no capítulo anterior, o número de veículos, e portanto a frequência de serviço na hora pico não varia. A frequência nas horas entre picos são passíveis de pequenas mudanças nesse prazo. No prazo intermediário, podem ser modificados os horários e a estratégia de operação de acordo com o volume de usuários. No longo prazo, pode-se admitir modificação no tamanho da frota e também na estrutura das rotas. Tratando-se de uma ligação simples, é suficiente que se considere que o número de ônibus naquela ligação pode variar, seja através da aquisição de novos ônibus, seja por meio de modificação na alocação de ônibus entre diferentes rotas. O custo operacional total tem uma relação funcional com o volume de usuários, como mostra a Figura 5.11b e o custo operacional médio na Figura 5.11c.

Geralmente, os esquemas de cobertura do custo e de tarifação no transporte coletivo estão sujeitos a regulamentação governamental. Sobretudo quando a operadora é uma empresa pública, não é raro que a tarifa seja fixada politicamente, e geralmente abaixo do necessário para cobrir o custo operacional médio. A diferença é então coberta pelo governo (sociedade). De qualquer maneira, o custo monetário do usuário é o valor da tarifa, indicada na Figura 5.11d.

Para se obter a função oferta ao usuário deve-se adicionar ao valor da tarifa, o componente correspondente ao valor associado ao tempo e desconforto da viagem. A relação entre estes componentes do custo e o volume de tráfego, e a função oferta de serviço de ônibus é apresentada na Figura 5.11d, e reflete uma particular política operacional do sistema de transporte em questão. Pode-se notar nessa figura que o valor do tempo de viagem é constante até um determinado volume de tráfego. Isto se dá porque nesse caso o operador fixou uma frequência mínima. Assim, a frequência mínima será adotada até que o volume de usuários atinja a capacidade horária de transporte para essa frequência. Conforme vimos na seção 5.3.4, o tempo total de viagem é formado de vários tempos parciais: tempo de acesso à linha de ônibus, tempo de espera, tempo no interior do ônibus, eventuais transferências, e tempo de caminhada até o destino. A frequência afeta o tempo de espera. Dessa forma, enquanto a frequência for mantida no valor mínimo, o tempo total de viagem será constante. Porém, à medida que o volume de usuários cresce, deve-se aumentar a frequência para dar vazão à demanda. Conseqüentemente, diminui-se o tempo de espera e o tempo total de viagem e com ele o seu valor. Mas o aumento na frequência tem seu limite. Um dos limites pode estar na impossibilidade de a empresa alocar mais ônibus para a linha. O outro limite poderia ser o congestionamento da linha com muitos ônibus. Geralmente ocorre o primeiro. É que a situação de alta demanda só ocorre nas horas de pico, e assim, dificilmente empresários proveriam as linhas com ônibus em quantidade suficiente para oferecer serviço de boa qualidade nas horas de pico, e deixa-los ociosos o resto do dia. Com essa política, os ônibus estariam sempre lotados, e os usuários seriam obrigados a esperar pelo próximo ônibus, aumentando drasticamente o tempo de espera e o tempo total de viagem.

### 5.6.3. Função oferta de transporte aéreo

Na construção de uma função de oferta para um caso de transporte aéreo regional, considerou-se um simples sistema consistindo de dois aeroportos servindo a duas cidades. A oferta de transporte aéreo de passageiros entre esses dois aeroportos é representado por uma função custo médio percebido pelo usuário. Em viagens aéreas de longa distância, o valor do bilhete aéreo é predominante na função, que depende diretamente do esquema de cobertura do custo usado pela linha aérea que fornece o serviço e é influenciado pela regulamentação e pelas

características do mercado. Todavia, a fim de ver esta função de oferta sob a mesma perspectiva usado para outros tipos de transporte, vamos discutir o papel desempenhado por cada um dos agentes envolvidos na oferta de transporte deste caso.

Podemos identificar dois ofertantes. O primeiro é a autoridade aeroportuária, em geral empresa do setor público central, que constrói a infra-estrutura do aeroporto, e o segundo é o governo (central, regional ou local) que muitas vezes provê fundos para a construção de aeroportos. Estes dois ofertantes do setor público incorrem nos custos que são diretamente cobertos pelas companhias de aviação e pelos passageiros através de taxas e outras formas de cobrança. Nos EUA, por exemplo, os aeroportos costumemente cobram das companhias aéreas uma taxa de pouso e alugueis de espaços com a finalidade de cobrir o custo de operação de aeroportos e de serviço da dívida contraída na construção do aeroporto. O governo cobra das companhias aéreas uma taxa na forma de taxa de registro e cobra dos passageiros uma taxa com base no valor do bilhete aéreo (normalmente 8%). Estes custos dos ofertantes são cobertos diretamente e aparecem como componentes fixos da função custo das companhias aéreas e dos passageiros. Podemos então identificar dois operadores. O primeiro é a autoridade aeroportuária, que pode ajustar os procedimentos operacionais em resposta às condições de tráfego, tais como elevar a taxa de pouso durante as horas pico ou sobretaxar os passageiros, etc., para ajudar na cobertura dos custos operacionais. O segundo é a companhia aérea que, além dos encargos pagos ao aeroporto e as taxas pagas ao governo, incorre no custo operacional. A função custo da companhia aérea usualmente apresenta economia de escala e um custo médio decrescente a baixo volume de passageiros, após o que o custo médio torna-se aproximadamente constante até o ponto onde começa a aparecer o efeito de congestionamento e o custo médio cresce devido a atrasos. Os custos da companhia aérea são, em princípio, cobertos através do bilhete aéreo.

Além dos bilhetes aéreos e quaisquer taxas diretas e encargos pagos ao aeroporto, o usuário incorre no custo associado ao tempo de viagem e à inconveniência. Este componente da função oferta usualmente decresce com o volume de passageiros e cresce quando aparece o efeito de congestionamento. A função oferta para o usuário é ilustrada na Figura 5.12.

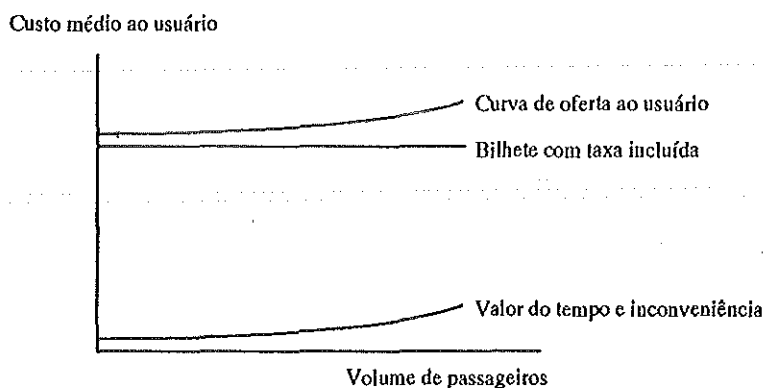


Figura 5.12: Função oferta para viagem aérea de longa distância

Para o exemplo de viagem aérea de longa distância, dissemos que o valor do bilhete aéreo responde praticamente pela totalidade dos custos. Isto é uma afirmação que se baseia no seguinte: numa viagem de 3000 km, gasta-se aproximadamente 600 dólares em bilhete e taxas, e o tempo de viagem é da ordem de 4 horas. Considerando um usuário com salário de 2.000 dólares por mês (10 dólares por hora), viajando a trabalho, terá gasto em tempo de viagem 40 dólares. Supondo que ele gaste mais 2 horas com o transporte terrestre e esperas, o custo do tempo sobe para 60 dólares que representa apenas 10 % do custo do bilhete. No caso de

transporte aéreo de curta distância, a curva de oferta passa a se assemelhar à do transporte urbano de passageiros por ônibus, como se pode ver na Figura 5.13.

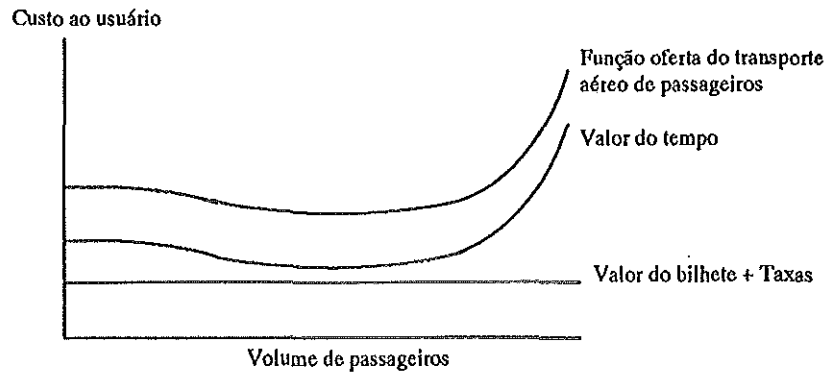
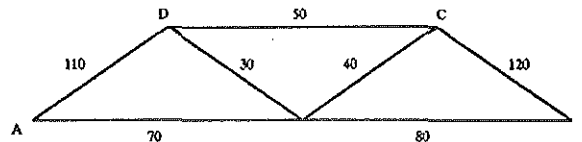


Figura 5.13: Função oferta para viagem aérea de curta distância

### Exercícios

5.1 É dada uma região com quatro comunidades A, B, C e D conectadas por uma rede rodoviária mostrada abaixo. As distâncias estão indicadas em quilômetros. Um produto é feito de madeira, aço e trabalho. Para cada tonelada do produto são necessários 0.8 t de madeira, 0.2 t de aço e 100 homens.hora de trabalho. Os custos de transporte são:

|         | Terminal   | Trajeto      |
|---------|------------|--------------|
| Madeira | \$ 20.00/t | \$ 0.20/t.km |
| Aço     | \$ 30.00/t | \$ 0.40/t.km |
| Produto | \$ 50.00/t | \$ 0.60/t.km |



Os recursos estão disponíveis nos seguintes locais, ao custo indicado por tonelada

|                 | A     | B     | C     | D     |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|
| Aço             | \$20  | \$25  | -     | -     |
| Madeira         | -     | -     | \$300 | \$450 |
| Salário horário | \$5.0 | \$4.0 | \$5.0 | \$5.5 |

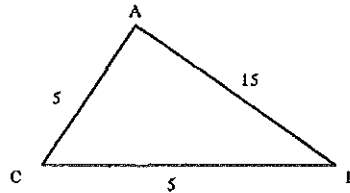
Existe demanda por produto final em B, C, e D e é expressa por uma função de demanda geral do tipo  $q_i = a - b p_i$ , onde  $q_i$  e  $p_i$  são respectivamente a quantidade e o preço do produto vendido no mercado  $i$ . Em particular:

$$q_B = 240 - 0.160 p_B \quad q_C = 240 - 0.240 p_C \quad q_D = 100 - 0.050 p_D$$

O produto é manufaturado sob condições de custo médio mínimo e é produzido num único local.

- Onde deverá ocorrer a produção, se a localização da fábrica será determinada de maneira a maximizar o lucro?
- Qual é a quantidade de recurso a ser transportado de cada fonte?
- Qual é a quantidade de produto a ser transportado para cada mercado?
- Qual é o total de toneladas transportadas por cada uma das ligações?

5.2 A rede mostrada abaixo indica os custos de transporte entre as três cidades A, B, e C. Estes custos são dados em dólares por tonelada para o transporte de batatas. Batatas são produzidas só na cidade A e são apenas demandadas nas cidades B e C. A quantidade produzida em A é muito grande, de maneira que não existe restrição para satisfazer as demandas de B e C.



O custo de produção por tonelada em A é \$5.00 e as demandas por batatas em B e C são dadas pelas seguintes funções de demanda:

Em B:  $q = 50 - 2.5p$

Em C:  $q = 100 - 10p$

onde  $q$  representa a quantidade comprada em toneladas e  $p$  representa o preço por tonelada de batatas vendidas.

- Calcular a quantidade de batatas em cada uma das cidades B e C
- Calcular o fluxo (em toneladas de batatas) nas ligações da rede.

5.3. Traçar a curva de oferta de transporte de automóveis pela rodovia (em caminhões cegonheiros), de São Bernardo dos Campos até Salvador.

5.4. Uma companhia de transporte coletivo urbano pretende estabelecer horários de ônibus obedecendo às formulas abaixo, onde  $f$  é a frequência em ônibus/h, e  $p$  é o volume de passageiros que passam pelo trecho mais carregado, em passageiros/h. Se ônibus têm velocidade de  $v$  km/h e operam à frequências uniformes, trace num papel milimetrado uma curva de parcela do tempo total de viagem (correspondente a tempo no interior do veículo mais tempo de espera no ponto de ônibus) versus volume, para este variando de 100 a 2000 passageiros/h.

Dias da semana período de pico (7:00-9:00h e 16:00-18:00h):  $f = 4,10 + 0,013p$ ,  $v = 20$  km/h

Dias da semana período entre picos (9:00h-16:00h):  $f = 4,36 + 0,016p$ ,  $v = 23$  km/h

Dias da semana período noturno (18:00 até meia noite):  $f = 4,34 + 0,0012p$ ,  $v = 25$  km/h

5.5. Uma linha de metrô tem 16 km. Trens param em todas as estações. O tempo de viagem do trem num sentido é dado pela seguinte fórmula empírica:  $(30+0,02p+0,00002p^2)$  minutos, onde  $p$  é o número total de passageiros embarcados num trem.

- Traçar a curva de tempo de viagem do trem num sentido em função do volume de passageiros/trem, com o volume variando de 0 a 2250 passageiros/trem.
- Calcular o número de viagens redondas (ida+volta) que cada trem pode fazer em 2 horas, supondo que na hora pico existem 10 vezes mais passageiros num sentido do que no outro.
- Traçar, para o sentido de fluxo de pico, a curva de volume de passageiros por hora (trens/h vezes passageiros/trem) versus passageiros por trem, supondo que na linha existem 15 trens e todos eles operam continuamente.
- O que você pode concluir sobre a capacidade da linha?

---

## 6. EQUILÍBRIO ENTRE DEMANDA E OFERTA

---

### 6.1. Introdução

Para que possamos estimar a magnitude de fluxo que realmente ocorrerá no sistema de transporte, é necessário combinar a demanda e a oferta. Somente a partir do equilíbrio entre a demanda e a oferta no sistema de transportes é que podemos estimar o fluxo, o custo, e o tempo de viagem entre cada par de origem e destino. O enfoque adotado neste capítulo é análogo ao da análise econômica. A diferença está no fato de que em transportes o equilíbrio não se obtém unicamente através do preço, mas sim através do conjunto preço-nível de serviço. Começaremos a nossa discussão revisando os conceitos microeconômicos para depois generalizarmos para o serviço de transporte.

### 6.2. Teoria sobre o equilíbrio entre demanda e oferta

#### 6.2.1 Enfoque microeconômico de equilíbrio

A teoria econômica básica sobre equilíbrio econômico aplica-se às situações em que o preço de uma mercadoria homogênea comprada ou vendida no mercado é determinado de tal maneira que a quantidade total produzida iguala a quantidade total comprada, como se pode ver na Figura 6.1, onde o ponto de equilíbrio, determinado pelo preço  $P_1$  e quantidade  $Q_1$ , é o ponto de interseção da curva de demanda com a curva de oferta. Se o preço fosse fixado no nível  $P_2$ , a quantidade ofertada seria de  $Q_2$ , enquanto que a quantidade demandada seria de  $Q_3$ , com evidente excesso de oferta. Como resultado, o produtor tenderia a reduzir tanto o preço, para incentivar o consumo, como a quantidade ofertada, para evitar o encalhe da mercadoria. Nesse processo de ajuste, o preço e o respectivo volume de venda tenderiam para aqueles de equilíbrio ( $P_1$  e  $Q_1$ ).



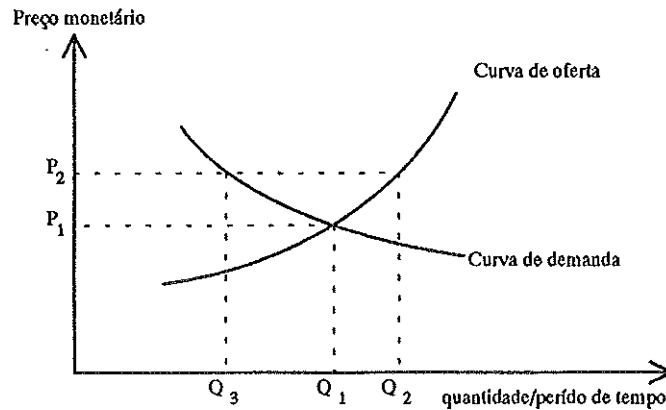


Figura 6.1: Equilíbrio entre demanda e oferta de um bem homogêneo

### 6.2.2. Nível de serviço na análise de equilíbrio

Conforme discutimos nos Capítulos 3 e 4, Demanda por Transporte e Oferta de Transportes, respectivamente, tanto a quantidade demandada como a quantidade ofertada dependem, além do preço, do nível de serviço. Por um lado, o volume de tráfego tende a aumentar quando se reduz o custo de transporte e eleva o seu nível de serviço. Por outro lado, o custo e o nível de serviço tendem a aumentar com o fluxo de veículos nas vias.

Um dos enfoques consiste em relacionar a quantidade de transporte demandada a uma medida de custo total ao usuário, que inclui não só o preço pago pelo serviço mas quaisquer fatores de nível de serviço que variam com a quantidade transportada. Este enfoque é particularmente muito usado na análise de fluxo rodoviário e de outros tipos de infra-estrutura de transporte. No entanto, a aplicação do conceito de custo total ao usuário requer a adoção de uma unidade única. Assim, se adotarmos a unidade monetária como unidade padrão, teremos de transformar a unidade de tempo em unidade monetária; a unidade de esforço físico em unidade monetária; e assim por diante. Dessa forma, a análise de equilíbrio em transporte pode ser reduzida ao esquema microeconômico clássico, conforme se vê na Figura 6.2. Basta lembrar que o custo ao usuário representa o custo monetário, tempo de viagem, desconforto, etc.

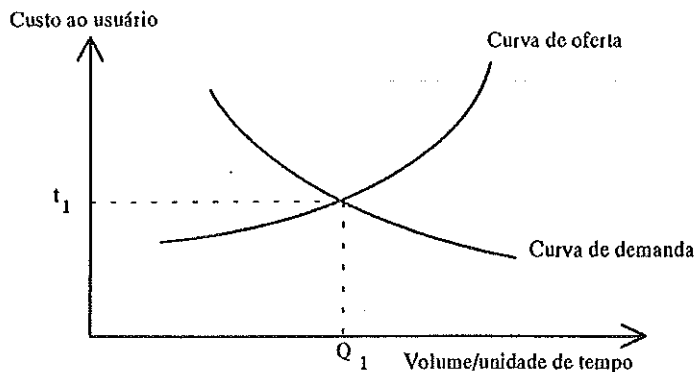


Figura 6.2: fluxo de equilíbrio numa infra-estrutura de transporte

No Capítulo 3 discutimos o aumento da demanda devido à redução no tempo de viagem. Mostramos também uma figura, semelhante à Figura 6.3, apresentando o efeito da redução do tempo de viagem na curva de demanda. O deslocamento vertical na curva de demanda mostra

que após a redução do tempo de viagem,  $D_1$ -ésimo viajante, cujo custo total ao usuário era de  $C_1$ , se dispõe agora a pagar  $C_2$ ,  $C_1$  a mais. Supondo que essa redução no tempo tenha sido de  $\Delta t$  minutos, para este indivíduo  $\Delta t$  minutos valem  $C_t$  unidades monetárias, ou seja, cada minuto vale para ele  $C_t/\Delta t$  unidades monetárias. Em suma, no primeiro enfoque, os métodos para estimar o valor do tempo e de outros atributos do nível de serviço estão baseados nesta idéia.

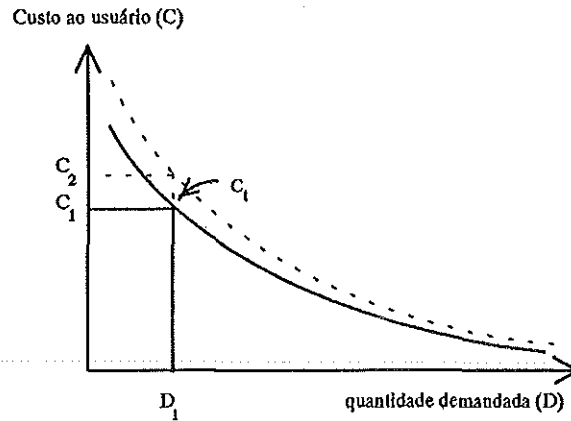


Figura 6.3: Relação entre preço e custo total ao usuário

O enfoque alternativo é manter tanto a equação de demanda como a de oferta em função do preço e das variáveis de nível de serviço. Igualando ambas as equações obtém-se uma relação entre o preço e as variáveis de nível de serviço, que satisfazem a condição de igualdade entre a quantidade demandada e a quantidade ofertada. A Figura 6.4 mostra a demanda e a oferta em função do preço e do tempo de viagem. A linha de equilíbrio, definida pela interseção da superfície de demanda com a superfície de oferta, determina a relação entre o volume de transporte, o preço e o nível de serviço de equilíbrio.

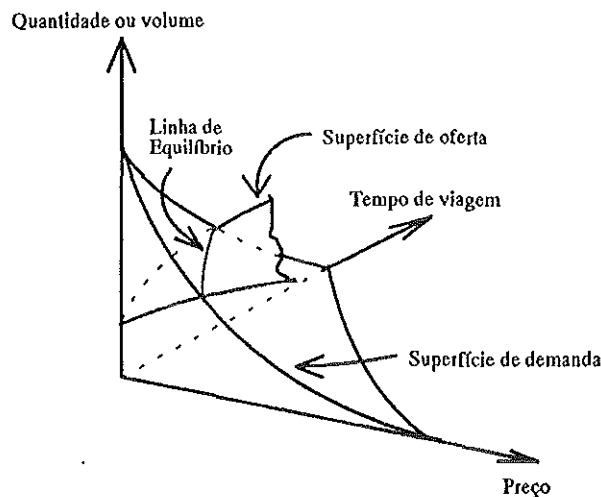


Figura 6.4: Equilíbrio entre demanda e oferta

Se fixarmos o preço e o tempo de viagem, teremos a quantidade. O preço e o tempo de viagem são fixados de acordo com a tecnologia utilizada, condições operacionais das vias, a estrutura de custo da empresa e a política da empresa em relação ao lucro. Note que isso não é a mesma coisa que fixar o preço e o nível de serviço na equação da demanda ou da oferta

isoladamente, pois aqui há garantia de que quaisquer combinações obtidas satisfazem a condição de equilíbrio entre a demanda e a oferta.

Devemos sempre lembrar que a relação entre preço, quantidade e nível de serviço muda com o tempo. Lembre-se de um exemplo apresentado no Capítulo 3 (Demanda por transporte) em que o volume de viagem de São Carlos para Araraquara foi expresso também em função da população de São Carlos e do número de emprego existente em Araraquara. Assim, se a Figura 6.4 estivesse representando o transporte de passageiros por ônibus de São Carlos para Araraquara, a superfície da demanda deslocar-se-ia para cima à medida que a população de São Carlos ou o emprego em Araraquara crescesse. Caso a empresa de transporte mantenha a oferta apesar do aumento da demanda, haverá elevação tanto do preço como do tempo de viagem (porque os ônibus passariam a viajar sempre lotados e aumentaria a probabilidade de fazer mais paradas intermediárias).

### 6.3. Construção das curvas de demanda e oferta

Na seção anterior vimos que para se fazer a análise de equilíbrio é necessário representar tanto a curva de demanda como a curva de oferta (ou custo ao usuário x volume) de tal forma que a ordenada seja a medida do custo ao usuário. A curva custo ao usuário x volume já foi tratada dessa maneira no Capítulo 5 - Oferta de Transportes, onde foi realçado o fato de que o volume influi tanto no custo monetário ao usuário como no tempo de viagem e outras variáveis do nível de serviço. O custo generalizado foi então determinado em função do volume de fluxo. Por outro lado, a demanda foi mostrada de uma forma genérica, ou seja, o volume de usuários expresso em função de uma série de fatores que o afetam, e não o volume de usuários em função do custo generalizado. Assim, nesta seção mostraremos como é possível transformar uma função de demanda multiatributos, numa função de demanda de variável única.

Inicialmente, vamos supor que estejamos analisando o fluxo de equilíbrio entre demanda e oferta na ligação entre duas cidades, 1 e 2. O volume de fluxo horário é representado pela equação já calibrada e abaixo apresentada.

$$D_{\text{auto}} = 8,18 \cdot 10^{-9} \cdot H_1^{0,8} \cdot E_2^{1,0} \cdot R_1^{1,5} \cdot P_a^{-0,9} \cdot T_a^{-0,7}$$

onde:  $D_{\text{auto}}$  - Volume de automóvel na hora pico, da cidade 1 para a cidade 2;

$H_1$  - População da cidade 1 (160.000 habitantes);

$E_2$  - Número de empregos na cidade 2 (50.000 empregos);

$P_a$  - Custo monetário da viagem em automóvel;

$R_1$  - Renda per capita da cidade 1, em US\$ - (6.000US\$);

$T_a$  - Tempo de viagem em automóvel;

Substituindo esses valores na equação acima, temos:

$$D_{\text{auto}} = 2.769.141 \cdot P_a^{-0,9} \cdot T_a^{-0,7}$$

Vamos supor também que o custo percebido de automóvel varia em função do volume de tráfego, segundo equação abaixo:

$$P_a = 130 + 0,000006 \cdot V_a^2$$

onde:  $P_a$  é o custo monetário (de automóvel) percebido, em Cr\$;  
 $V_a$  é o volume de tráfego, em veículos/h.

O tempo de viagem varia com o volume segundo a equação da U.S. FHWA.

$$T_a = 30 [1 + 0,15 \cdot (V_a/2000)^4]$$

$$C_g = P_a + 2,0 \cdot T_a$$

onde:  $C_g$  é o custo ao usuário, em Cr\$  
 $T_a$  é o tempo de viagem de automóvel, em min;  
 2,0 valor de um minuto gasto na viagem.

Essas relações podem ser melhor visualizadas quando colocadas na tabela. Inicialmente vamos preencher as quatro primeiras colunas que se referem ao custo monetário em função do volume, tempo de viagem em função do volume, e o custo ao usuário.

| Volume (veíc./h) | Custo Monetário (Cr\$) | Tempo de Viagem (min) | Custo ao Usuário (Cr\$) | Demanda (veíc./h) |
|------------------|------------------------|-----------------------|-------------------------|-------------------|
| 0                | 130,00                 | 30,00                 | 190,00                  | 3205              |
| 500              | 131,50                 | 30,02                 | 191,54                  | 3170              |
| 1000             | 136,00                 | 30,28                 | 196,56                  | 3057              |
| 1500             | 143,50                 | 31,42                 | 206,34                  | 2838              |
| 2000             | 154,00                 | 34,50                 | 223,00                  | 2495              |
| 2500             | 167,50                 | 40,99                 | 249,48                  | 2049              |
| 3000             | 184,00                 | 52,78                 | 289,56                  | 1578              |

Agora, calcula-se a demanda horária substituindo na função de demanda horária o custo monetário e o tempo de viagem. Os resultados encontram-se na última coluna da tabela acima. A partir da tabela acima podemos traçar a curva de custo ao usuário x volume, como mostra o gráfico abaixo.

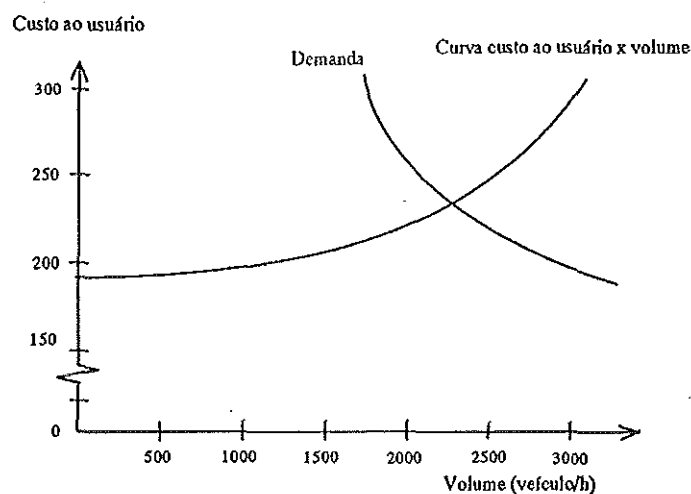


Figura 6.5. Exemplo de como se constrói uma curva de demanda em função do custo ao usuário.

## 6.4. Equilíbrio em ligações isoladas

A maioria das pesquisas em análise de redes de transportes resultou da necessidade de expandir a capacidade da malha viária interurbana e de estender a rede de transporte urbano provocada pelo rápido crescimento da população e área urbanas. As teorias e métodos subjacentes à análise de equilíbrio, que foram desenvolvidas para a rede de transporte rodoviário, serão apresentadas de tal maneira que possam ser generalizadas para outras situações e outros modos de transporte. Visto que a maioria das pesquisas foram desenvolvidas nos EUA e na Europa, e dado que os usuários desses países são sensíveis principalmente a tempo de viagem, os métodos foram originalmente desenvolvidos para esta variável. O uso da variável "custo ao usuário" foi, na realidade, uma maneira encontrada para se adequar o uso de mais de uma variável aos métodos existentes.

### 6.4.1. Conceitos

A demanda por transporte é descrita em termos de quantidade demandada entre duas áreas, denominadas zonas. A rede que conecta as zonas consiste de nós e ligações. Arcos podem ser não-direcionados, que permitem fluxo em ambos os sentidos, e direcionados (também denominados arcos), que permitem fluxo em apenas um sentido. Cada zona possui um ponto chamado centróide onde, admite-se, todas as viagens de passageiros ou de cargas da zona começam, e terminam as viagens destinadas à zona. No caso de redes rodoviárias, tempo de viagem e outros custos são associados apenas às ligações. Todavia, ligações podem ser usadas para representar diferentes caminhos através das interseções.

### 6.4.2. Pistas simples

A situação mais simples é a de uma pista simples ligando dois pontos. Estes dois pontos são os centróides de zonas em que o tráfego começa e termina. A demanda por transporte de uma zona para outra e a oferta (relação entre volume e custo total ao usuário) podem ser representadas da mesma forma que na Figura 6.2. A análise pode ser feita em apenas um sentido ou em ambos os sentidos. Geralmente se faz em dois sentidos, quando a relação volume x custo total num sentido não coincide com a de outro, ocasionado pelo perfil longitudinal da ligação (subida num sentido e descida noutro), ou quando a análise é de curto prazo (por exemplo, na análise do equilíbrio no pico da manhã e no pico da tarde, que geralmente ocorrem nos períodos e sentidos diferentes).

Uma modificação ocorrida na pista, para melhor ou pior, pode ser facilmente incorporada na análise. A Figura 6.6 mostra o caso de uma rodovia que recebeu um melhoramento, que se reverte ao usuário sob a forma de menor custo total para todos os níveis de volume. Essa redução no custo total ao usuário passa a atrair os usuários em potencial, aqueles cujo desejo de utilizar a estrada estava reprimido pelo alto custo.

Também a modificação na demanda pode ser facilmente incluída na análise. A Figura 6.7 mostra o efeito do aumento da demanda sobre o volume de tráfego e sobre o custo ao usuário. Conforme foi repetidamente mencionado, o aumento no tráfego de uma ligação, sob o ponto de vista do custo total ao usuário versus volume de tráfego, pode ocorrer motivado principalmente pelo crescimento da população de uma zona e pelo incremento na atratividade da zona que está

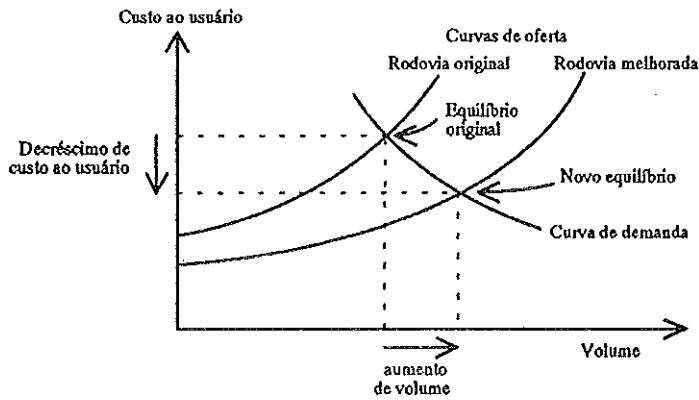


Figura 6.6: Efeito da mudança na oferta

no outro lado da ligação. Do ponto de vista da demanda, expressa em termos de custo monetário versus volume de tráfego, pode se dizer que a demanda depende além dos fatores anteriormente mencionados, da redução no tempo de viagem, aumento no conforto, etc.

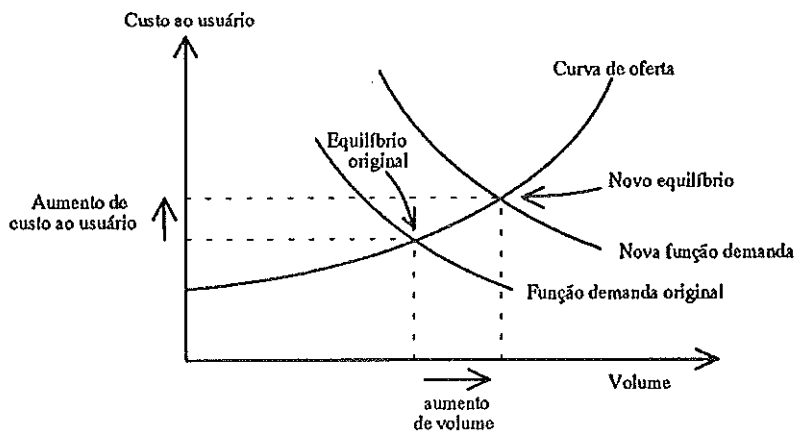
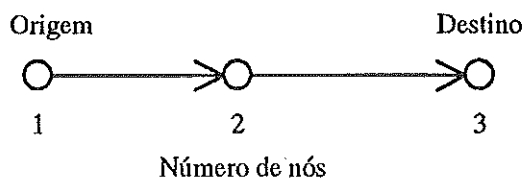


Figura 6.7: Efeito da mudança da demanda

### 6.4.3. Duas rodovias ligando dois pontos

Uma simples extensão da análise anterior é a situação em que duas ou mais rodovias juntas formam uma cadeia de ligações (ou arcos) entre duas zonas de tráfego. A Figura 6.8 apresenta as ligações 1-2 e 2-3 em série, o caminho 1-3, e as respectivas curvas de oferta.



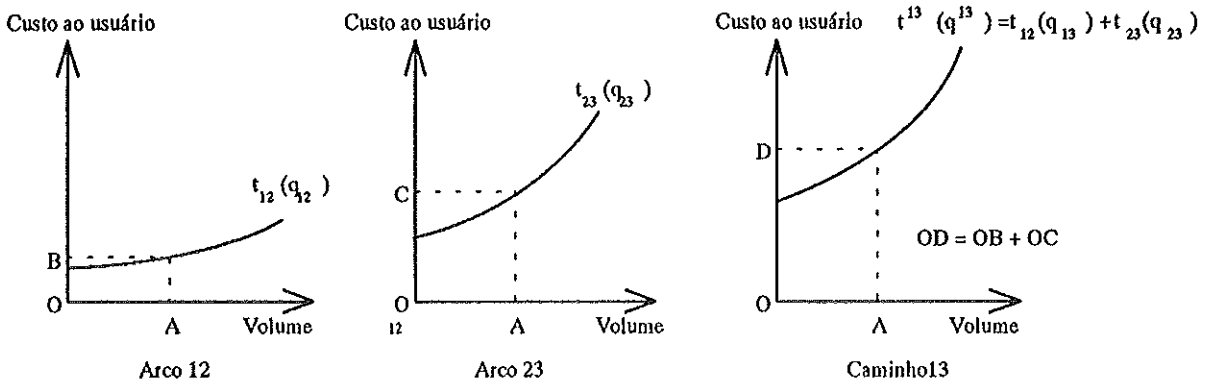


Figura 6.8: Curvas de oferta das ligações e do caminho

Para facilitar a leitura da expressão matemática como a que aparece na figura acima, vamos fazer algumas convenções: os índices subscritos denotam o arco, e o superescrito a origem e o destino do caminho. Como o caminho é constituído de um ou mais arcos, podemos escrever:

$$t^{ij}(q^{ij}) = \sum_{rs \in p_{ij}} t_{rs}(q_{rs}) \tag{6.1}$$

- onde:  $t^{ij}$  - é o custo ao usuário de nó  $i$  para nó  $j$  como uma função de volume  $q^{ij}$
- $rs \in p_{ij}$  - significa que  $rs$  pertence ao conjunto de arcos contidos no caminho  $p_{ij}$
- $t_{rs}$  - é o custo ao usuário no arco  $rs$  para um volume de tráfego  $q_{rs}$

Uma vez conhecida a função demanda pelo caminho 13, pode-se encontrar o volume de tráfego ( $E$ ) e o custo ao usuário resultantes do equilíbrio entre a demanda e a oferta no caminho 13, como se pode ver na Figura 6.9.

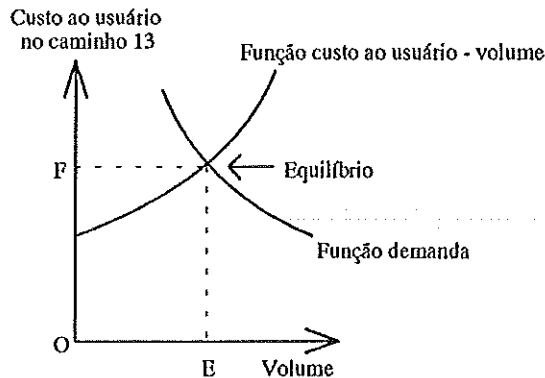


Figura 6.8: tráfego e o custo ao usuário resultante do equilíbrio

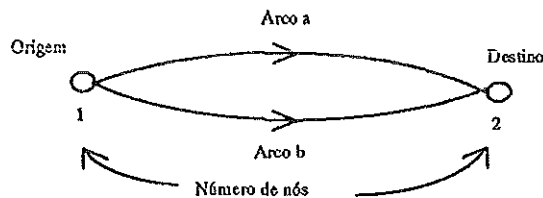
#### 6.4.4. Duas rotas alternativas entre duas zonas de tráfego

Um caso mais complexo e também mais comum numa rede de transporte é a situação onde existem rotas alternativas entre duas zonas quaisquer. Esta situação é complexa na medida em que usuários devem decidir qual das rotas irão usar, além de decidir se viajam ou não. Com relação ao segundo problema, a decisão está implícita na curva de demanda. O número de pessoas que decidem viajar a um determinado custo ao usuário é dado pela curva de demanda.

No entanto, permanece a dúvida: os usuários optarão por qual das rotas alternativas? Pesquisas sobre o comportamento de motoristas indicam que nos países ricos a tendência é escolherem rota de menor tempo de viagem, desde que a diferença no custo monetário não seja muito grande. Já nos países mais pobres, motoristas seguem o caminho inverso. De qualquer maneira, a tendência geral é escolher a rota cujo custo ao usuário seja a menor das alternativas.

Seguindo esse raciocínio, chegaríamos à conclusão de que caso existisse duas rotas, uma com o custo ao usuário menor do que o da outra, todos optariam pela rota de menor custo ao usuário. Acontece que à medida que aumenta o volume de usuário numa rota, o custo ao usuário cresce, e pode tornar-se maior do que o custo ao usuário da outra alternativa. A partir daí começam a usar também a outra rota. No equilíbrio, os custos ao usuário nas duas rotas devem estar iguais. A seguir, mostraremos graficamente o processo de determinação do volume de usuários que utilizarão cada uma das rotas.

Sejam 1 e 2 os nós que correspondem, respectivamente, aos centróides das zonas de origem e de destino das viagens. Os viajantes dispõem de duas rotas alternativas, que denominaremos de Arco a e Arco b. O esquema de ligação encontra-se na figura abaixo.



Vamos supor que as curvas de oferta (ou curvas de relação volume - custo ao usuário) sejam conhecidas. A Figura 6.10 mostra as curvas de oferta correspondentes ao Arco a e ao Arco b. Com estas duas curvas podemos construir uma terceira, que corresponde à curva de oferta conjunta. Por definição, a curva de oferta relaciona o custo ao usuário e o volume de tráfego. Por um custo A o arco a é capaz de escoar um volume de B unidades, enquanto que a esse custo não se é possível escoar nada pelo Arco b. Em conjunto, os dois arcos dão vazão a apenas B unidades. Pode-se notar que ao custo inferior a A, só se consegue transportar através do Arco a, ou seja, a viagem pelo Arco b sempre custa mais do que A. Para um nível de custo maior, digamos C, a oferta conjunta torna-se maior do que as ofertas de cada arco. O volume de tráfego que pode ser escoado por unidade de tempo sem ultrapassar o custo C é de D unidades no Arco a, de E unidades no Arco b, e de (D + E) unidades nos dois arcos. Portanto, a curva de oferta conjunta é construída somando-se, para cada nível de custo, os volumes correspondentes às quantidades ofertadas nos arcos que fazem aquela ligação.

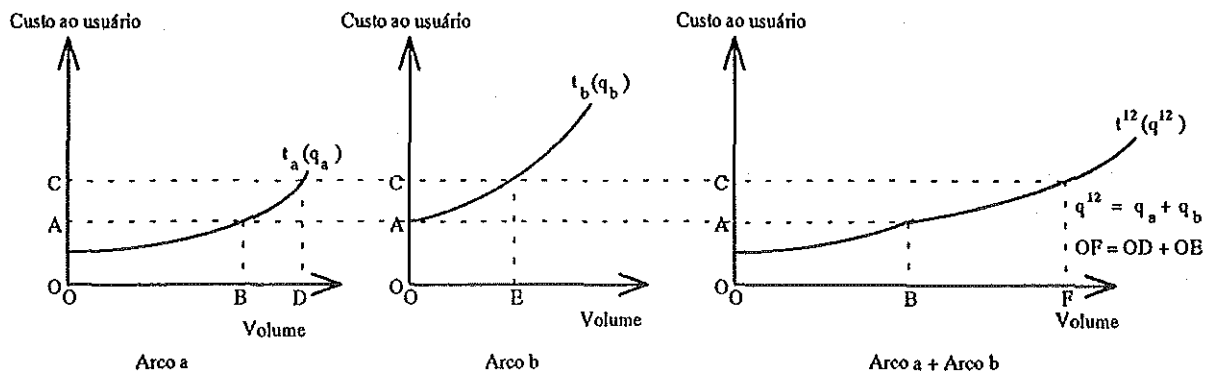


Figura 6.10: curvas de oferta de cada arco e a curva de oferta conjunta



Vejamos como é que se determina o volume de tráfego em cada um dos arcos. Para isso é preciso que conheçamos a curva de demanda por transporte do nó 1 para o nó 2. Vamos supor que a curva de demanda seja a indicada na Figura 6.11, em linha cheia. O equilíbrio entre a oferta e demanda é obtido para o custo  $P$  e volume de tráfego  $Q$ . Teoricamente, todos os usuários, independente do arco que usam, estão sujeitos ao custo  $P$ . Resta então determinar, através das curvas de oferta de cada arco, os volumes de tráfego correspondentes ao custo  $P$ . Os volumes de tráfego resultantes são:  $R$  unidades no Arco a e  $S$  unidades no Arco b.

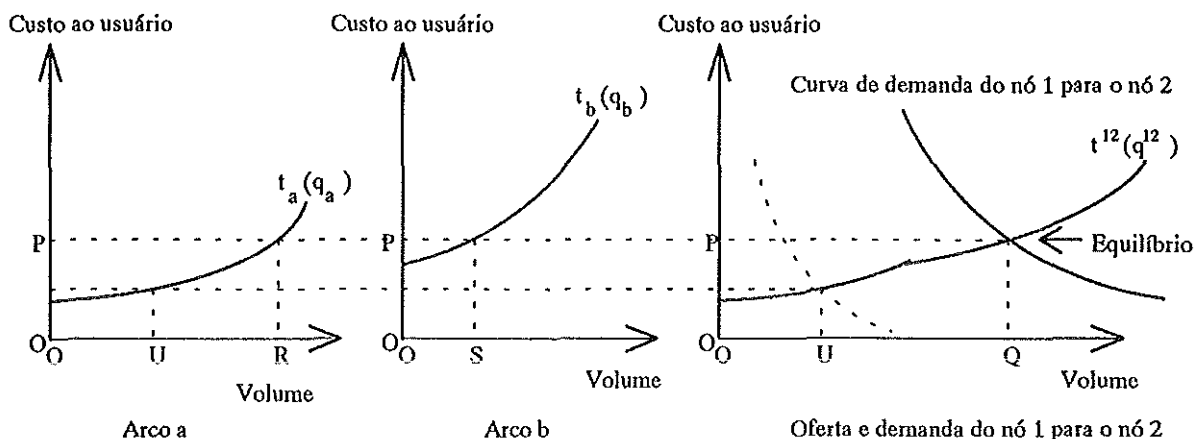
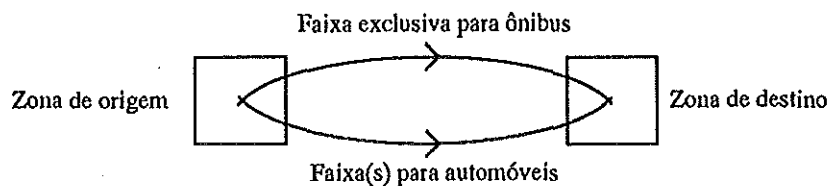


Figura 6.11: Equilíbrio entre a oferta conjunta e demanda, e volume de tráfego resultante em cada arco

A Figura 6.11 mostra ainda que se a demanda por transporte de 1 para 2 fosse relativamente pequena (indicado na Figura pela curva tracejada), todos os usuários ( $U$  unidades) usariam somente o Arco a, conforme havíamos discutido no início desta seção.

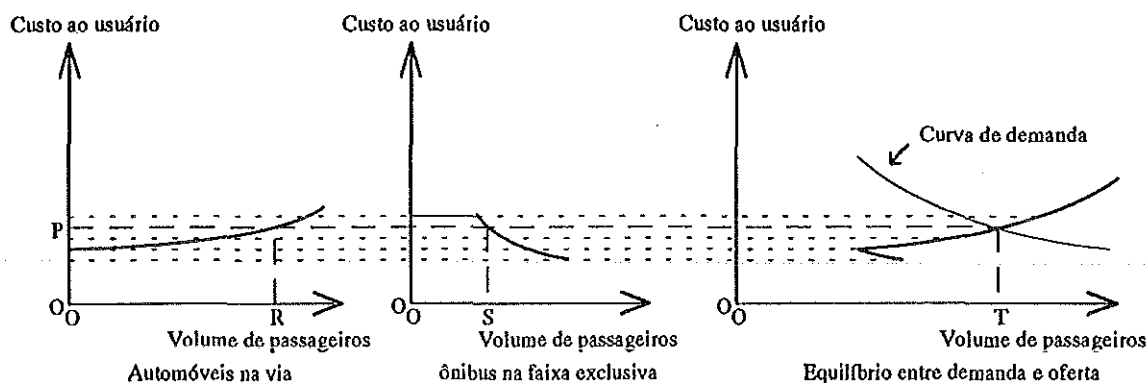
#### 6.4.5. Equilíbrio entre dois modos utilizando uma mesma via (porém segregada)

Este caso é uma extensão da conexão em paralelo, apresentada na secção anterior. A análise pode ser aplicada, por exemplo, ao caso de automóveis e ônibus que usam a mesma via, porém com faixa exclusiva para ônibus, que serve a mesma zona de origem e a de destino. A curva de oferta conjunta auto+ônibus é obtida somando-se horizontalmente as duas curvas, como mostra a Figura 6.12b, e adotando-se uma unidade comum para a medida do volume de tráfego, como por exemplo passageiros/h. O ponto de equilíbrio é obtido pela interseção entre a curva de oferta e a de demanda. O volume de usuários de cada modo de viagem é determinado pelo custo generalizado de equilíbrio ( $P$ ), conforme mostra a Figura 6.12:  $R$  para automóveis e  $S$  para ônibus, que totalizam  $T$  no conjunto. Assim, no equilíbrio os custos generalizados correspondentes aos dois modos serão iguais. Isto é bastante intuitivo, pois caso o custo generalizado de um modo fosse menor do que o do outro, haveria migração do modo de maior custo para o de menor custo. Conforme discutimos anteriormente, à medida que o volume de usuário se aproxima da capacidade, verifica-se o aumento acelerado do custo generalizado como efeito do congestionamento. A migração de um modo para o outro continua até que o custo generalizado dos dois modos se igualem. Nesse ponto acaba a vantagem relativa de um modo sobre o outro.



Nota: Assume-se que usuários escolhem o caminho de menor custo generalizado

(a)



(b)

Figura 6.12: Equilíbrio entre dois modos fazendo a conexão entre duas zonas. a) A rede; b) Curvas de oferta individuais e do conjunto, mostrando o ponto de equilíbrio.

## 6.5. Equilíbrio em rede

Nas seções anteriores discutimos o equilíbrio, sempre enfocando uma ou duas ligações. Nos problemas práticos, a rede é formada por dezenas, centenas ou às vezes milhares de nós e de ligações e arcos. Nesta seção veremos como esses problemas reais são tratados. Os métodos para determinação de equilíbrio na rede foram basicamente desenvolvidos com vista à aplicação em planejamento de transporte urbano, que pode ser considerado o mais complexo dos sistemas de transporte. De fato, em relação a outros sistemas de transporte, o transporte urbano apresenta um número bem maior de alternativas aos usuários, em termos de destinos, modos e rotas. A análise de equilíbrio em rede tem como objetivo principal a determinação do carregamento futuro das ligações que compõem a rede. Através dessa análise, torna-se possível a identificação dos futuros problemas de tráfego e o estudo das ações alternativas visando contornar ou prevenir contra esses problemas.

Conforme discutimos no capítulo de demanda, a alocação de tráfego na rede é feita através da análise de equilíbrio entre a demanda e a oferta. Alocação de tráfego à rede é a última etapa do processo de previsão de demanda de quatro etapas, isto é, etapa que segue a *geração e atração de viagens, distribuição de viagens e divisão modal*. Aliás, este assunto foi deixado para este capítulo justamente porque envolve conceitos de oferta e de equilíbrio entre demanda e oferta. Conforme está ilustrado na Figura 6.13, o processo de planejamento de transporte depende, antes de mais nada, das atividades que no futuro serão desenvolvidas sobre o solo, e da intensidade com que isso se dará. Em seguida, supõe-se um determinado nível de custo

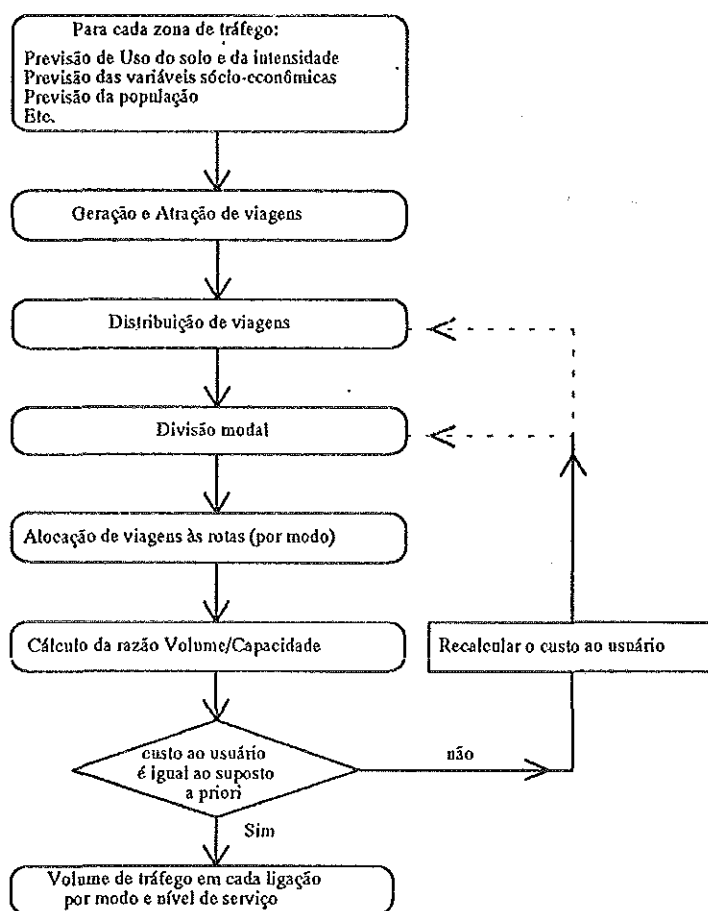


Figura 6.13: Procedimento para determinação do equilíbrio em rede usado no planejamento de transporte urbano

generalizado para cada ligação da rede de transporte individual e coletivo. Com base nessas suposições, viagens são geradas, distribuídas às zonas de destinos e divididas entre modos alternativos. Assume-se também que a rota a ser adotada por usuário é a de mínimo custo generalizado. Isto resulta na alocação de viajantes de cada origem para cada destino, através de cada um dos modos disponíveis, seguindo uma particular seqüência de ligações. Com estas informações, podem ser reestimados o volume de tráfego e o custo ao usuário em cada uma das ligações. Estes valores são comparados aos valores adotados "a priori". Caso a diferença entre eles não esteja dentro de um limite de tolerância, a distribuição de viagens e divisão modal são recalculadas com o novo valor de custo ao usuário.

De qualquer maneira, para efeito de alocação de viagens à rede, considera-se que o total de viagens entre um dado par de origem e destino, por um determinado modo de viagem, seja fixo. Portanto, resta a tarefa de estimar o volume de usuários que usam cada uma das ligações.

### 6.5.1. Técnica do caminho mínimo

No contexto de transporte, o caminho que cada um usa é aquele que minimiza o tempo total de viagem, o custo total de viagem, ou alguma combinação entre tempo, desconforto e custo de viagem. Esse último é também conhecido como custo generalizado. No caso de transporte de passageiros costuma-se considerar que as pessoas procuram minimizar o tempo total ou o custo generalizado de viagem. No caso de transporte de carga é comum supor que o usuário pretende minimizar o custo total envolvido no transporte de carga. Seja como for, em

ambos os casos o objetivo é minimizar alguma coisa (custo, tempo, etc.) associada às ligações ou arcos que compõem o caminho entre uma origem e um destino. Portanto, matematicamente esses problemas são idênticos.

Um procedimento simples e elegante para resolver o problema de encontrar o caminho mínimo é o chamado método das árvores que é uma aplicação de um método matemático mais geral denominado programação dinâmica. O procedimento será brevemente explicado usando um exemplo simples. Para essa finalidade vamos usar a rede de transporte mostrada na Figura 6.14, que é uma parte da malha viária do Estado de São Paulo. O tempo médio de viagem (embora estejamos utilizando a variável tempo, a variável poderia ser custo monetário ou custo generalizado) em cada ligação, em minutos, está indicado ao lado da ligação.

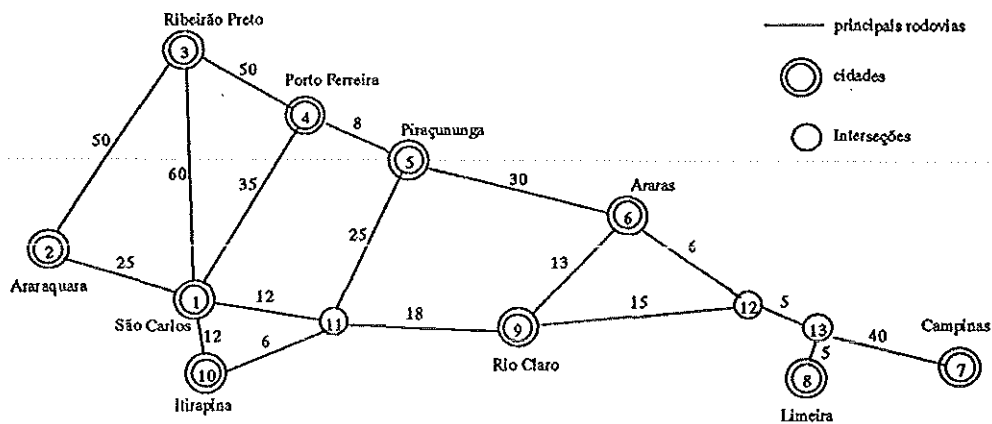


Figura 6.14: Principais ligações da rede rodoviária entre Regiões Administrativas de Campinas e de Ribeirão Preto

Por exemplo, o tempo médio de viagem de São Carlos para Piraçununga via ligações (1,11) e (11,5) é:  $12 + 25 = 37$  min. Existem outras possibilidades, tais como (1,4) e (4,5) cujo tempo total é de  $35 + 8 = 43$  min. Dessa forma, dados uma origem e um destino, é importante que o caminho usado seja especificado. Em termos matemáticos mais gerais podemos expressar isto como segue, designando o caminho de interesse por  $p$  e de  $L_p$  o conjunto de ligações ou arcos que compõem o caminho, conforme mostra a Equação (6.2).

$$t_p = \sum_{ij \in L_p} t_{ij} \quad (6.2)$$

onde:  $t_p$  tempo de viagem da origem  $i$  ao destino  $j$  pelo caminho  $p$ .

$L_p$  conjunto de ligações ou arcos contidos no caminho  $p$ .

$t_{ij}$  tempo de viagem na ligação ou arco  $(i,j)$

$ij \in L_p$  são as extremidades das ligações ou arcos incluídos no caminho  $p$ .

O nosso objetivo é então determinar o tempo total mínimo para ir de uma origem a cada um dos destinos. Vamos começar pelo ponto 1 (São Carlos). Do nó 1 partem 5 ligações, cujos tempos de viagem são: 12, 12, 35, 60 e 25. Assim, o menor tempo de viagem de 1 para 11 só pode ser 12 min, pois quaisquer outras combinações resultariam em tempo maior. O fato de termos encontrado o menor caminho de 1 para 11 tem uma consequência importante. Digamos que o menor caminho do nó 1 para o nó 9 seja via nó 11, então podemos ter certeza de que o menor caminho será através das ligações (1,11) e (11,9). Para indicarmos que o menor caminho

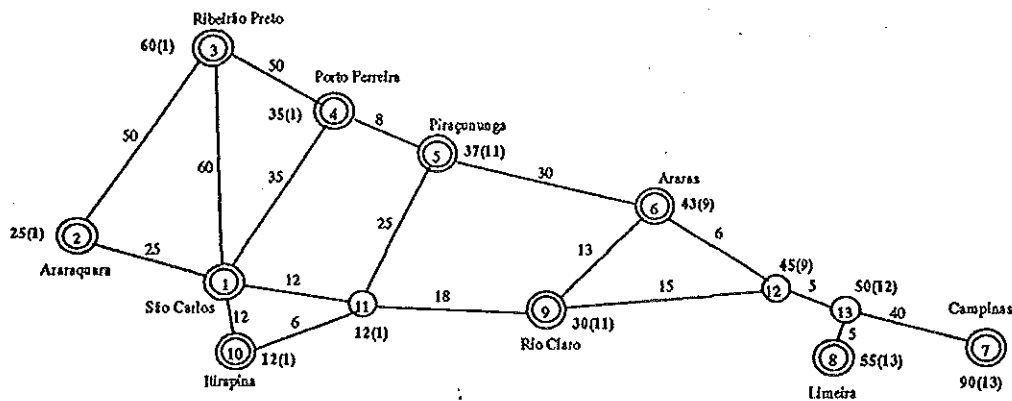


Figura 6.15: Notação indicando a ligação de menor tempo de viagem em relação ao nó de origem (no caso, o nó 1).

de 1 para 11 foi encontrado, anotamos, ao lado do nó, o tempo de viagem e o número do nó (entre parênteses) correspondentes à ligação predecessora mais curta. Esta convenção está apresentada na Figura 6.15. Para chegarmos ao nó 5 (Piraçununga), temos três alternativas: via nó 4, 11 ou 6. Via nó 4, o tempo de viagem é o menor tempo de 1 a 4 (35 min) mais 8 min entre os nós 4 e 5, o que totaliza 43 min. Via nó 11, o menor tempo de viagem é de  $12 + 25 = 37$  min. Por último, através do nó 6, seriam 30 min até o nó 9 (Rio Claro), mais 13 min do nó 9 a nó 6, e mais 30 min entre 6 e 5, totalizando 73 min. O caminho escolhido deve, portanto, seguir o

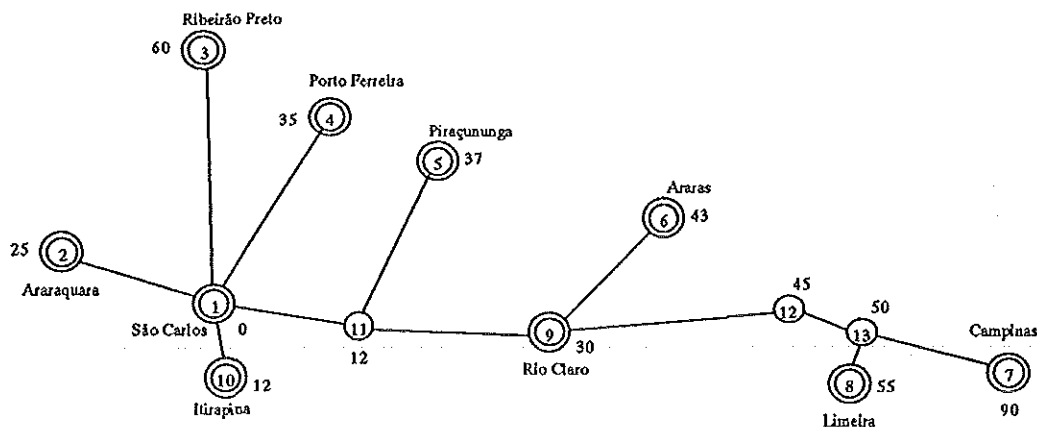


Figura 6.16: Árvore de menor caminho, com 1 como nó de origem.

caminho 1, 11 e 5, cujo tempo de viagem é de 37 minutos. Logo, anota-se esse resultado ao lado do nó 5. Seguindo o raciocínio, determinam-se o caminho e o menor tempo de viagem da origem 1 até cada um dos destinos restantes. A Figura 6.16 apresenta o melhor caminho para os nós, a partir do nó 1, na forma de uma árvore. Embora uma figura ajude muito na visualização da solução, muitas vezes é desejável que as informações ou os resultados sejam colocados em forma de tabela. Com esse intuito, foi desenvolvida uma forma padronizada de apresentação, mostrada na Tabela VI.1. A primeira coluna é a lista de nós, e cada vez que o melhor caminho para um nó é encontrado, ele é inserido na tabela. Na segunda coluna estão os nós predecessores, e assim, o nó e o nó predecessor correspondente indicam a última ligação no processo.

**Tabela VI.1:** Determinação do caminho mínimo com origem no nó 1.  
Os caminhos mínimos estão indicados em negrito

| Nó | Nó predecessor | Tempo mínimo de viagem até o nó predecessor (min) | Tempo de viagem entre o nó e o predecessor (min) | Tempo de viagem até o nó (min) |
|----|----------------|---|--|--------------------------------|
| 1  | 0              | -   | 0  | 0                              |
| 10 | 1              | 0   | 12   | 12                             |
| 11 | 1              | 0   | 12   | 12                             |
| 2  | 1              | 0   | 25   | 25                             |
| 4  | 1              | 0   | 35   | 35                             |
| 3  | 1              | 0   | 60   | 60                             |
| 3  | 2              | 25  | 50   | 75                             |
| 3  | 4              | 35  | 50   | 85                             |
| 5  | 4              | 35  | 8  | 43                             |
| 5  | 11             | 12  | 25   | 37                             |
| 9  | 11             | 12  | 18   | 30                             |
| 6  | 5              | 37  | 30   | 67                             |
| 6  | 9              | 30  | 13   | 43                             |
| 12 | 9              | 30  | 15   | 45                             |
| 13 | 12             | 45  | 5  | 50                             |
| 8  | 13             | 50  | 5  | 55                             |
| 7  | 13             | 50  | 40   | 90                             |

Agora, depois da explanação através de um exemplo, podemos formalizar o procedimento acima como um conjunto de regras. Em terminologia matemática, um conjunto de regras é denominado algoritmo. Algoritmo é um procedimento que fornece um resultado específico em um número finito de passos. Os passos do algoritmo para a determinação dos caminhos mínimos são os seguintes:

1. Comparar os custos\* de todas as ligações (ou arcos) que têm origem no nó A (nó de origem). Selecionar aquela associada ao menor custo, e indicar o terminal da ligação (nó B) com o custo de viagem a partir de A e com a letra A entre parênteses. Caso prefira usar tabelas ao invés de gráficos, comece anotando o nó de origem na primeira coluna, e indicando o nó predecessor (0) na segunda.

\* Doravante será empregado o termo custo ao invés de tempo, pois tanto o custo monetário quanto o tempo são componentes do custo generalizado.

2. Calcular os custos de se chegar a um nó, com base no nó predecessor, cujo custo mínimo já esteja determinado. Caso haja mais de uma ligação chegando ao nó, comparar os custos e escolher a ligação que proporciona o menor custo a partir da origem. Inserir este nó na coluna do nó predecessor, e continuar o processo até que sejam determinados os custos mínimos para todos os nós da rede.
3. Caso se queira determinar os caminhos de custo mínimo a partir de uma outra origem, repetir o procedimento 1 e 2, fixando-se a nova origem.

Se o objetivo é encontrar o menor caminho para cada par de zonas de tráfego, então todos os nós serão fixados como origem. Para facilitar a visualização do resultado, é comum dispor os custos de viagem em forma de matriz, conforme indicado na Tabela VI.2.

**Tabela VI.2:** tempo de viagem entre algumas cidades das Regiões Administrativas de Campinas e de Ribeirão Preto (em minutos).

| O \ D | 1  | 2   | 3   | 4  | 5  | 6  | 7   | 8   | 9  | 10 |
|-------|----|-----|-----|----|----|----|-----|-----|----|----|
| 1     | 0  | 25  | 60  | 35 | 37 | 43 | 90  | 55  | 30 | 12 |
| 2     | 25 | 0   | 50  | 60 | 62 | 68 | 115 | 80  | 55 | 37 |
| 3     | 60 | 50  | 0   | 50 | 58 | 88 | 139 | 104 | 90 | 72 |
| 4     | 35 | 60  | 50  | 0  | 8  | 38 | 89  | 54  | 51 | 47 |
| 5     | 37 | 62  | 58  | 8  | 0  | 30 | 81  | 46  | 43 | 31 |
| 6     | 43 | 68  | 88  | 38 | 30 | 0  | 51  | 16  | 13 | 37 |
| 7     | 90 | 115 | 139 | 89 | 81 | 51 | 0   | 45  | 60 | 84 |
| 8     | 55 | 80  | 104 | 54 | 46 | 16 | 45  | 0   | 25 | 49 |
| 9     | 30 | 55  | 90  | 51 | 43 | 13 | 60  | 25  | 0  | 24 |
| 10    | 12 | 37  | 72  | 47 | 31 | 37 | 84  | 49  | 24 | 0  |

Nota: Embora neste caso tenhamos considerado nulos todos os tempos médios de viagens intrazonais, isto é, os tempos constantes na diagonal da tabela, estes valores poderão ser não nulos, o que aliás seria mais realista. O tempo médio de viagens intrazonais, em cada uma das zona de tráfego, é obtido através da média de uma amostragem coletada na zona.

Por fim, é importante observar que o melhor caminho pode variar ao longo do dia. Um caminho, que na maior parte do dia permite viajar em tempo relativamente curto, pode apresentar congestionamento nas horas de pico, e conseqüentemente tornar-se, naquelas horas, o caminho menos recomendado.

### 6.5.2. Método de alocação tudo-ou-nada

O método de alocação tudo-ou-nada é basicamente uma extensão da técnica do caminho mínimo. É denominado tudo-ou-nada porque cada caminho que leva de uma zona de origem para uma zona de destino é carregado com o total de tráfego (se for o caminho mínimo) ou com nenhum tráfego. Além disso, supõe-se que o tempo de viagem entre cada par de origem e destino seja conhecido, e que esse tempo não varia com o volume de tráfego.

Os passos são:

- 1) Encontrar o caminho mínimo de cada centróide da zona para todos os demais.
- 2) Assinalar o fluxo de cada nó de origem para cada nó de destino, através dos arcos que compreendem o caminho mínimo.
- 3) Somar os volumes parciais que escoam por cada um dos arcos para se obter o volume total no arco.

Vamos ilustrar o procedimento com um exemplo cujas características da rede e do tempo de viagem, bem como a matriz de distribuição de viagens, estão apresentadas na Figura 6.17.

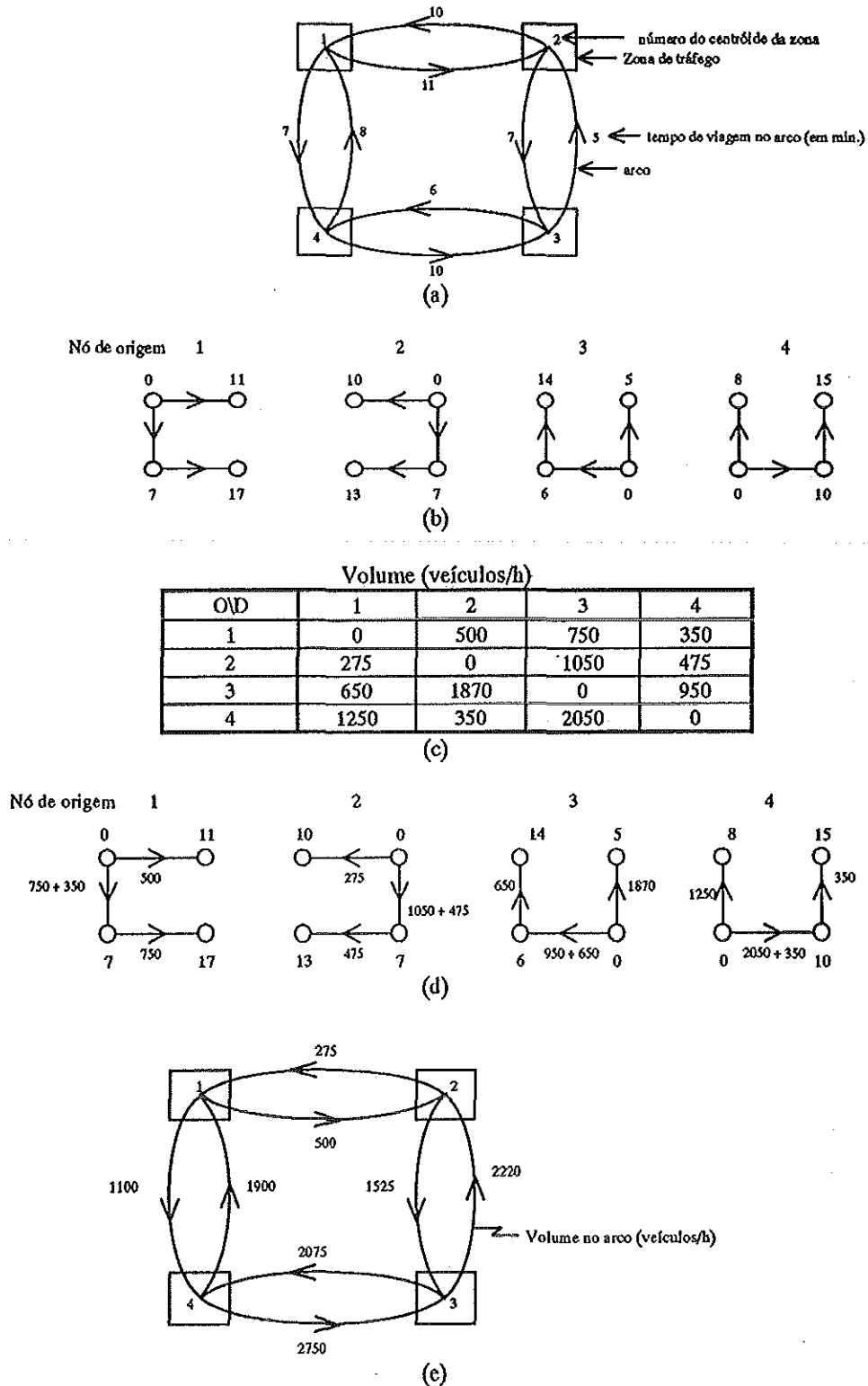


Figura 6.17: Exemplo de alocação tudo ou nada. a) A rede. b) As árvores de caminho mínimo. c) Tabela de origem e destino das viagens. d) Alocação de viagens a árvores de caminho mínimo. e) Os volumes de tráfego alocados.

### 6.5.3. Método de alocação com restrição de capacidade

O ponto fraco do método de alocação tudo-ou-nada é que ele não leva em consideração o efeito do volume de tráfego na ligação ou no arco sobre custo ao usuário ou nível de serviço. Enquanto em alguns casos seja possível adotar *a priori* um nível de serviço que provavelmente



vá corresponder ao volume de tráfego resultante sobre um arco (particularmente se o volume é relativamente baixo), essa adoção *a priori* fica sujeita a toda sorte de incertezas, principalmente no caso em que se estiver analisando o equilíbrio na rede urbana para as condições do futuro. Tanto o sistema em si como a demanda por transporte podem ser muito diferentes das condições atuais. Assim, é necessário que conheçamos a maneira de levar em conta os efeitos do volume de tráfego sobre o nível de serviço.

Uma equação freqüentemente usada para descrever a relação entre o volume de tráfego e o tempo de viagem em particular, é uma expressão introduzida pela U.S. Federal Highway Administration, que tem a seguinte forma:

$$t = t_0[1 + 0,15(V/C)^4] \quad (6.3)$$

onde:  $t$  tempo de viagem no arco

$t_0$  tempo de viagem em condição de fluxo de tráfego livre (ou a volume zero)

$V$  volume de tráfego no arco (veículos/h)

$C$  capacidade prática do arco (veículo/h)

O processo de alocação de fluxo na rede usando o método de alocação com restrição de capacidade é similar à alocação tudo-ou-nada em que começa assumindo um tempo de viagem para cada uma das ligações, usualmente o fluxo de tráfego livre. Todavia, uma vez que o tempo de viagem assumido tenha sido usado para obter o caminho de tempo mínimo, e o tráfego alocado com o uso do método tudo-ou-nada, descrito na seção anterior, o volume de tráfego resultante em cada ligação é usado para determinar o novo tempo de viagem na ligação. Este tempo de viagem é comparado com o anterior. Caso exista discrepância maior do que um valor arbitrado, para uma ou mais ligações, o processo é repetido. Caso contrário, o equilíbrio entre demanda e oferta foi atingido.

A resolução deste tipo de problemas na prática é muito trabalhoso, principalmente porque existem centenas ou milhares de nós e arcos. Assim, geralmente problemas reais exigem uso de computadores. O programa da U.S. Federal Highway Administration funciona da seguinte maneira:

1. Obtenção de árvores de caminho mínimo usando o tempo de viagem correspondente a tráfego de fluxo livre. O tempo de viagem resultante em cada arco é indicado genericamente de  $t^{(1)}$ .
2. Alocação de tráfego à rede usando o método tudo-ou-nada.
3. Cálculo do tempo de viagem ( $t^{(2)}$ ) no arco usando a Equação (6.3).
4. Obtenção de novas árvores de caminho mínimo baseado no tempo de viagem no arco dado pela expressão

$$t^{(3)} = 0,75 t^{(1)} + 0,25 t^{(2)} \quad (\text{regra prática para acelerar a convergência})$$

5. Retorno ao passo 1, usando o tempo de viagem  $t^{(3)}$  para se obter novas árvores de caminho mínimo. O processo continua até que todos os arcos apresentem discrepância menor do que um valor arbitrado.

#### 6.5.4. Representação gráfica da alocação de tráfego na rede

Uma vez determinado o volume correspondente a cada árvore, e somados os volumes de tráfego sobre a mesma ligação, é interessante que o resultado seja apresentado graficamente, como mostra a Figura 6.18. No gráfico, cada ligação da rede é representada por um retângulo cuja largura é proporcional ao volume de tráfego.

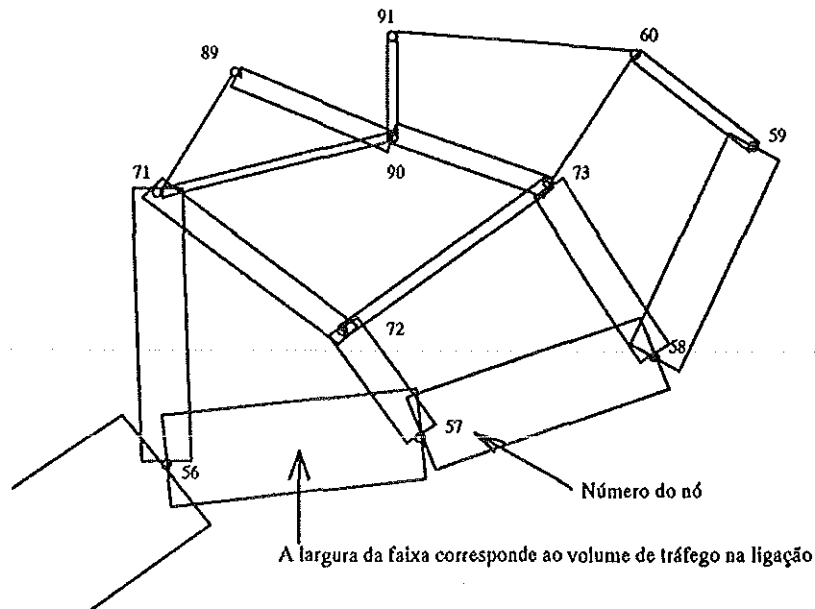


Figura 6.18: Representação dos fluxos alocados à rede.

#### 6.6. Custo e benefício na situação de equilíbrio

Uma das finalidades da análise de equilíbrio é estimar os fluxos que irão ocorrer ao longo da vida útil de um componente do sistema de transporte e as condições em que isso se dará, o que já foram analisados nas seções anteriores. O outro objetivo é estimar os custos e os benefícios resultantes de uma situação de equilíbrio, pois eles constituem elementos fundamentais na avaliação de ações e projetos alternativos dirigidos ao sistema de transporte.

Em primeiro lugar, vamos analisar os custos na situação de equilíbrio. Conforme vimos no Capítulo 6, é possível identificar os custos que incorrem a cada um dos agentes envolvidos na oferta de transporte, inclusive aos usuários. Para ilustrar a identificação dos custos que incorrem a cada agente, retornaremos à Figura 5.8, reproduzida na Figura 6.19, que apresenta a função oferta de transporte rodoviário urbano, à qual foi acrescentada uma curva de demanda, como mostra a Figura 6.19d.

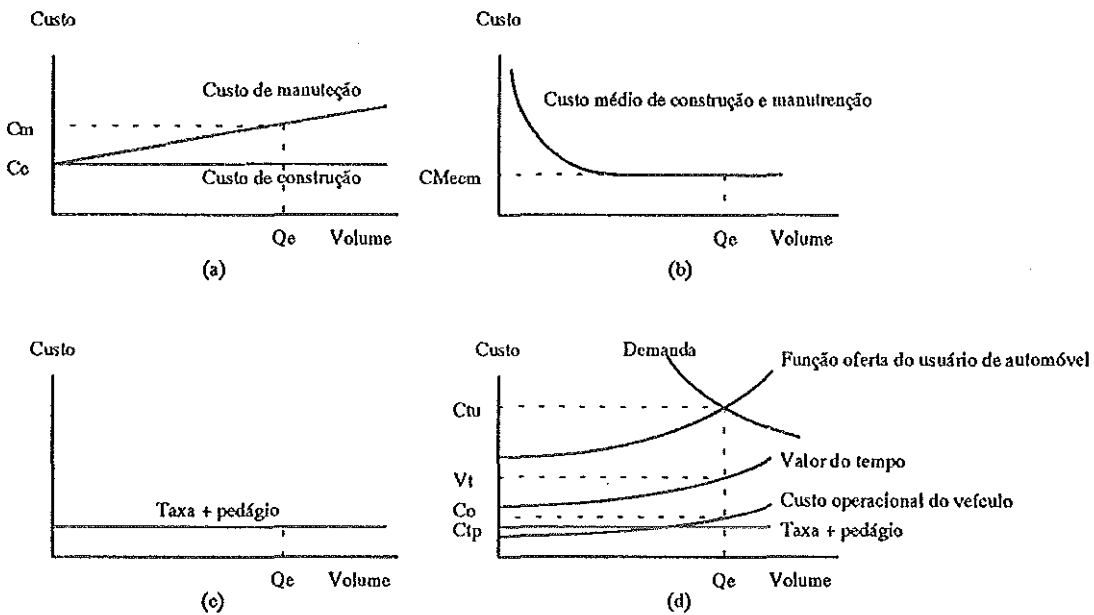


Figura 6.19: Custos correspondentes ao equilíbrio entre a oferta e a demanda. a) e b) Custos totais e médios anuais correspondentes a construção e manutenção (custo do ofertante). c) Taxas e pedágios pagos pelo usuário ao ofertante. d) Custo ao usuário.

O equilíbrio entre a demanda e a oferta define o custo ao usuário ( $C_{tu}$ ) e o volume de tráfego ( $Q_e$ ) de equilíbrio. Os custos correspondentes a cada agente envolvido na oferta, bem como as parcelas de custos que compõem o custo ao usuário são determinados pelas respectivas curvas de custo e pelo volume de tráfego de equilíbrio. Na Figura 6.19b estão ilustrados os custos médios ao ofertante: custos médios de construção ( $C_c$ ) e de manutenção ( $C_m$ ). A Figura 6.19c mostra o montante que cada usuário paga ao ofertante a cada vez que usa a via. Portanto, o montante é uma das parcelas que compõem o custo médio ao usuário, ao mesmo tempo que é uma receita média (benefício, portanto) para o ofertante. Com relação ao custo ao usuário, ele é constituído de seguintes valores: 1) Taxas e pedágios ( $C_{tp}$ ); 2) Valor correspondente ao tempo gasto na viagem ( $V_t$ ); e 3) Custo operacional do veículo ( $C_o$ ). Neste ponto convém fazer uma observação. No Capítulo 5 ressaltamos que o custo ao usuário deve refletir somente os custos efetivamente percebidos pelo usuário, pois o equilíbrio entre oferta e demanda se dá com base nos valores percebidos. No entanto, quando se trata de determinar os recursos gastos na realização de transporte, necessariamente todos os custos monetários devem ser considerados.

Agora vejamos os benefícios. Para o ofertante de uma infra-estrutura de transporte, como é o caso acima ilustrado, os benefícios são constituídos de taxas e pedágios cobrados do usuário. Para os usuários, os benefícios correspondem a área hachurada delimitada pelos eixos das coordenadas, pela curva de demanda e pelo volume  $Q_e$ , mostrada na Figura 6.20a. Fazendo analogia com os termos contábeis, podemos dizer que estes benefícios correspondem a uma receita. Desse total, descontamos o custo total ao usuário, isto é,  $C_{tu} \times Q_e$ , que corresponde à área do retângulo definido pelo  $C_{tu}$ ,  $Q_e$  e eixos das coordenadas.

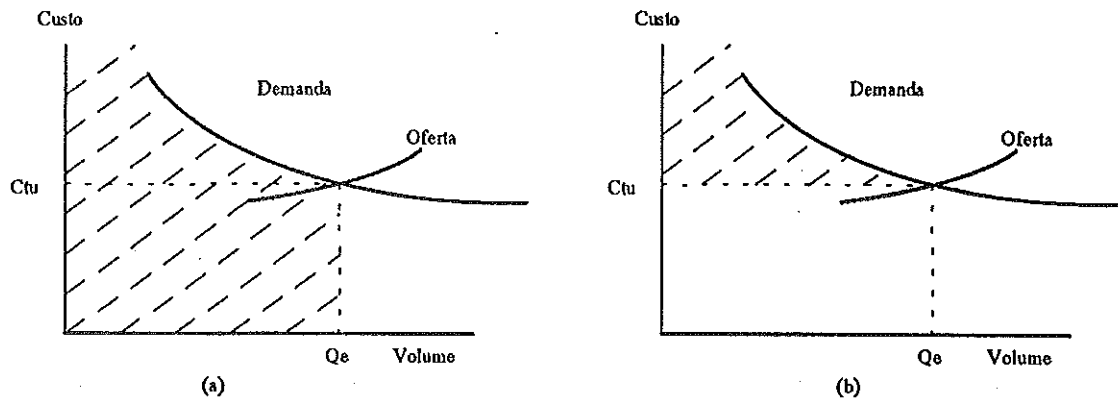


Figura 6.20: Benefícios do usuário. a) Benefício total. b) Excedente do usuário

Continuando com a analogia, a área hachurada restante corresponde ao lucro. O valor desta área é denominado excedente do usuário. O excedente do usuário pode ser interpretado como sendo a diferença entre o custo que o usuário está disposto a suportar e o custo efetivamente incorrido. Benefícios ao usuário constituem a base para a avaliação econômica de projetos de transportes. Por essa razão, retornaremos ao tópico no Capítulo 9 para uma análise detalhada.

### Exercícios

6.1. Três arcos rodoviários, designados por seus nós como (1, 2), (2, 3) e (3, 4), estão em série. Se as respectivas relações volume-tempo de viagem têm a forma indicada pelas equações abaixo, qual é a relação volume-tempo de viagem para distância inteira de 1 até 4, supondo que passa o mesmo volume em todas as ligações? As unidades das expressões abaixo são:  $t$  (min) e  $V$  (veículos/h).

$$t_{12} = 10 [1 + 0,15(V/2000)^4]$$

$$t_{23} = 15 [1 + 0,15(V/2300)^4]$$

$$t_{34} = 8 [1 + 0,15(V/2500)^4]$$

6.2. Na rede mostrada na figura abaixo, são dadas as funções demanda por transporte e as relações volume-tempo de viagem. Nós 1, 3 e 4 são geradores de tráfego, enquanto nó 2 é uma mera interseção. Resolva estas equações para o volume e tempo de viagem de equilíbrio.

Demanda:

$$d^{13} = 2000 - 10t^{13} \quad \text{onde} \quad d^{ij} - \text{quantidade demandada de } i \text{ para } j, \text{ em veículos/h}$$

$$d^{43} = 4000 - 15t^{43} \quad t^{ij} - \text{tempo de viagem de } i \text{ a } j, \text{ em minutos}$$

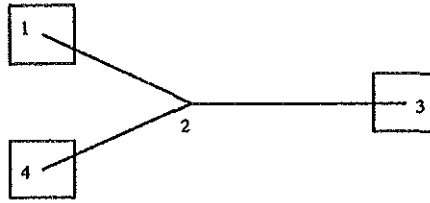
Relação volume-tempo de viagem:

$$t_{12} = 25 + 0,05q_{12} \quad \text{onde} \quad t_{rs} - \text{tempo de viagem no arco, em minutos}$$

$$t_{23} = 30 + 0,05q_{23} \quad q_{rs} - \text{volume no arco, em veículo/h}$$

$$t_{42} = 30 + 0,05q_{42}$$





6.3. No problema 6.2, suponha que a curva de demanda do nó 1 para nó 3 modificou-se como resultado de desenvolvimento de novas fronteiras agrícolas.

$$d^{13} = 4000 - 20t^{13}$$

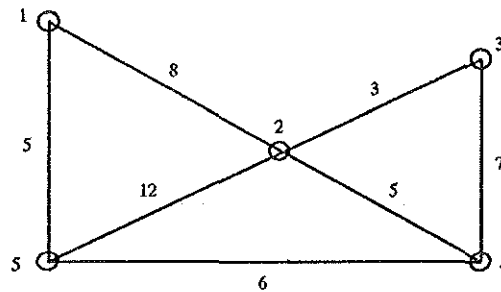
Quais são os fluxos de equilíbrio e tempo de viagens resultantes na rede? Compare com os resultados do problema 6.2. Porque a mudança na curva de demanda do nó 1 para 3 afeta o volume do nó 4 para 3.

6.4. No problema 6.2, o ligação (2, 3) foi melhorada, resultando em nova relação volume-tempo de viagem.

$$t_{23} = 20 + 0,04q_{23}$$

Que efeito isto terá sobre o fluxo de equilíbrio e tempo de viagem?

6.5. Aloque as viagens de veículos mostrados na tabela de origem/destino à rede de transporte, usando a técnica de alocação tudo-ou-nada. Tempos de viagem, em minutos, estão indicados na figura. Faça uma lista das ligações da rede e indique o volume de tráfego alocado a cada uma. Calcule também o veículo-minutos de viagens em cada ligação. Tomando cada um dos nós da rede como origem, trace as árvores de caminho mínimo e carregue os ramos com o volume de tráfego correspondente.



Veículo/h

| O/D | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 1   | 0   | 100 | 150 | 200 | 150 |
| 2   | 400 | 0   | 200 | 100 | 500 |
| 3   | 200 | 100 | 0   | 100 | 150 |
| 4   | 250 | 150 | 300 | 0   | 400 |
| 5   | 200 | 100 | 50  | 350 | 0   |

---

## 7. TARIFICAÇÃO EM TRANSPORTE

---

### 7.1. Introdução

O preço em transporte é a importância que o cliente ou usuário paga ao transportador em contrapartida a sua execução. Ele é utilizado para cobrir parcial ou integralmente os custos incorridos na prestação do serviço, além de servir como um instrumento auxiliar na condução de políticas de transporte.

O preço é também conhecido por três denominações distintas: *frete*, *tarifa* e *taxa*. No sentido mais amplo da economia dos transportes, a distinção entre os três termos é decorrente da maneira como o preço for estabelecido.

- Frete - Representa o preço negociado que pode variar em cada ocasião. Como exemplos podem ser citados o transporte rodoviário de carga e o transporte hidroviário.
- Tarifa- Corresponde a preços fixados e publicados pelo operador sob forma de tabelas, especificando valores diferentes para as diversas categorias possíveis de expedição ou de usuário.
- Taxa - Significa preço estabelecido por uma autoridade tal como o poder público.

No entanto, estas denominações nem sempre são assim conceituadas. Por exemplo, em ferrovias brasileiras, a *tarifa* corresponde ao conjunto de condições, gerais ou especiais, incluindo *fretes* e *taxas*, sendo que *frete* corresponde à parte do preço que se refere a operação de transporte propriamente dita, enquanto que a *taxa* é o que se paga por operações adicionais como carga, descarga e transbordo.

### 7.2. Pontos de vista na tarifação

No Capítulo 6, Equilíbrio entre demanda e oferta, vimos o mecanismo que governa o equilíbrio, de onde resulta o fluxo de tráfego. Lá, embora tenhamos ressaltado a importância do preço (custo ao usuário), a visão foi mais voltada para a relação entre este e o tráfego resultante. Aqui, o preço será focado como um instrumento que pode ser usado para conseguir o equilíbrio financeiro ou como um instrumento para disciplinar o uso das infra-estruturas de transporte. Para o bom entendimento deste capítulo, é desejável que o leitor esteja

dominando os conceitos de custos unitários, tais como custo médio, custo marginal, custo variável médio, etc., apresentados no Capítulo 4.

A análise da tarifação depende não só dos custos mas também dos benefícios. Nesse ponto, é importante distinguir dois tipos de benefícios: benefícios ao operador e benefícios ao usuário. O principal benefício do operador pode ser resumido em termos de receitas provenientes da venda do serviço de transporte, enquanto que o benefício ao usuário está no serviço que lhe foi prestado.

A magnitude do benefício ao usuário pode ser medido através da quantia que ele está disposto a pagar pelo serviço. No próximo capítulo vamos discutir o assunto em maior profundidade. Por ora vamos apenas mostrar, através de um exemplo, a lógica do raciocínio. Suponha que o seu salário líquido atual seja de 600 dólares/mês em São Carlos, e que uma construtora de Araraquara quer contratá-lo por salário líquido de 800 dólares/mês. Você gostaria de aceitar o emprego, mas não gostaria de morar lá. Então a solução seria viajar diariamente. Até quanto desta diferença (de 200 dólares) você estaria disposto a despende mensalmente nas viagens ao trabalho? Todos os 200 dólares? Certamente não, pois no final das contas sobrariam apenas 600 dólares, iguais ao salário atual, e além disso você teria o incômodo, o desconforto, a perda de tempo, etc., na viagem. Então, 150 dólares? Ainda não. 100 dólares? Talvez sim. Então, o valor que você estaria disposto a pagar pelas viagens, nessas condições, é de mais ou menos 100 dólares. Supondo, agora, que a construtora quisesse contratá-lo por 1000 dólares, quanto você estaria disposto a pagar? Com certeza seria mais do que 100 dólares, talvez até 250 dólares. O que se pretende mostrar através deste exemplo é que o máximo que uma pessoa está disposta a pagar reflete o benefício que ela terá com a viagem. Conforme discutimos no Capítulo 3, Demanda por transporte, a curva de demanda indica, na ordem decrescente, o máximo que cada usuário está disposto a pagar.

Uma vez entendido as diferentes naturezas dos benefícios, tentaremos discutir a tarifação em duas frentes: do ponto de vista do operador cujos interesses são basicamente o retorno financeiro do seu investimento e continuidade do seu negócio, e do ponto de vista do governo que, supõe-se, está interessado em otimizar o uso dos componentes de sistemas de transporte em prol do aumento do bem estar da sociedade como um todo .

### **7.3. Tarifação do ponto de vista do operador de transporte**

Do ponto de vista do operador, geralmente os objetivos estão ligados ao equilíbrio financeiro da operação. É claro que muitos operadores se preocupam também com o nível de serviço. Principalmente as empresas públicas como a CMTC que servem a várias linhas nada rentáveis, que as empresas privadas não serviriam ou, se o fizessem, fá-lo-iam com baixo nível de serviço. Existem também algumas empresas particulares que se preocupam com o nível de serviço, principalmente quando existe competição no mercado, motivada pelo instinto de sobrevivência. Seja como for, os operadores perseguem uma meta estabelecida. No caso de uma empresa pública a meta poderia ser a de efetuar o transporte de maior número possível de passageiros num determinado período de tempo, com o mínimo de subsídios. E, nesses casos, para se evitar a acomodação dessas empresas, o ideal é que o subsídio seja indireto, na forma de isenção de impostos e de outras taxas. A idéia é remover a desvantagem dessas empresas, ao mesmo tempo em que obriga os dirigentes das empresas públicas a apresentarem bons resultados, inclusive financeira. Outra forma muito usada de subsídio, evitando ao mesmo tempo a perda de eficiência das empresas, é o investimento a fundo perdido em alguns itens fixos dos componentes do sistema de transporte. Por sua vez, empresas privadas buscam o máximo de

lucro, mesmo as empresas de transporte de passageiros que, de certa forma, estão atadas às regras estabelecidas no contrato de concessão do serviços de transporte. Estas empresas geralmente batalham em duas frentes: uma, para conseguir a tarifa mais alta possível, e outra, para aumentar a eficiência interna para reduzir os custos. Pelo menos teoricamente, o lucro de empresa de transporte de passageiros está limitado à remuneração do capital nela investido, que é de 12% ao ano.

A seguir, analisaremos as diferentes estratégias de tarifação visando lucro máximo, lucros extraordinários nulos, e cobertura dos custos variáveis. Vamos supor que a curva de demanda  $p(q)$  e a curva de custo total  $CT(q)$  ou de custos unitários ( $CMe(q)$  - custo médio,  $CMg(q)$  - custo marginal, e  $CVMe(q)$  - custo variável médio) sejam conhecidos.

A receita de uma empresa que pratica uma tarifa única é obtida multiplicando-se o preço pela quantidade demandada. Caso existam tarifas diferenciadas, a receita total é obtida pela somatória das receitas das diferentes classes de tarifa multiplicadas pelas respectivas quantidades demandadas. Inicialmente analisaremos o caso de tarifa única. Uma observação importante é que ao adotar o ponto de vista do operador, o custo e a receita a serem considerados são *monetários*. Isto significa que a curva de demanda a ser traçada aqui, deve refletir o preço monetário em função da quantidade demanda, conforme foi mostrada no Capítulo 3, Demanda por Transporte. Todos os demais atributos da viagem devem estar fixos.

Um operador que procura obter lucro apenas normal (por exemplo, os 12% das empresas de transporte público de passageiros, que na verdade estão incluídos na lista de custos, a título de custo de oportunidade do capital ou simplesmente como juros), apenas busca o equilíbrio entre custo total e receita total.

$$CT(q) = RT(q) \Rightarrow CT(q)/q = RT(q)/q \Rightarrow CMe(q) = RMe(q) \tag{7.1}$$

$$RT(q) = p(q) \cdot q \Rightarrow RMe(q) = p(q) \text{ que é a própria curva de demanda}$$

Logo, o equilíbrio é obtido no ponto onde

$$CMe(q) = p(q) \tag{7.2}$$

Na Figura 7.1. vê-se que a curva de custo médio intercepta a curva de demanda no ponto onde a quantidade demandada é  $q_A$  e o custo é  $CMe(q_A)$ . Portanto, o preço a ser fixado terá valor equivalente ao custo médio.

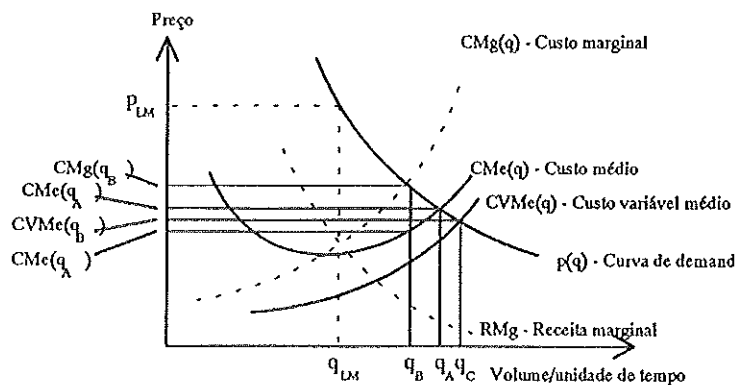


Figura 7.1: Curvas de custos unitários e curva de demanda



Da mesma forma, um operador que tiver de cobrir apenas o custo variável, terá de cobrar o preço que seja equivalente ao custo variável médio -  $CVMe(q_c)$ . Embora o governo precise subsidiar os custos fixos, esta estratégia permite que mais usuários (principalmente os economicamente desfavorecidos) usem o transporte público.

Outra estratégia é a maximização de lucros extraordinários (acima dos, digamos, 12% normais). Para se saber em que nível deve fixar a tarifa para que o lucro seja o máximo, define-se uma função lucro,  $L(q)$ , como sendo a diferença entre a receita total,  $RT(q)$ , e custo total,  $CT(q)$ , conforme está indicado na Expressão 7.3. Em seguida, maximiza-se a função, derivando a função em relação a quantidade  $q$ .

$$L(q) = RT(q) - CT(q) \quad (7.3)$$

$$\frac{dL(q)}{dq} = \frac{dRT(q)}{dq} - \frac{dCT}{dq} = 0 \quad \Rightarrow \quad RMg(q) = CMg(q) \quad (7.4)$$

Na Figura 7.1, vê-se que a interseção entre a curva de custo marginal com a curva de receita marginal determina a quantidade  $q_{LM}$  que proporcionam o lucro máximo à empresa operadora. Entrando na curva de demanda com a quantidade demandada  $q_{LM}$ , obtém-se o preço  $p_{LM}$  que deverá ser cobrado pelo serviço.

Nas subseções abaixo, essas estratégias de tarifação serão discutidas e criticadas. Além disso, serão mostrados alguns exemplo de aplicação da estratégia na prática.

### 7.3.1. Tarifação pelo custo médio

É a tarifação onde os custos de produção de transportes são totalmente cobertos pelos usuários. Procura-se desta forma atingir o objetivo de equilíbrio financeiro da empresa. Sem dúvida, é um esquema de tarifação simples e portanto fácil de administrar. No entanto, os custos médios são baseados nos dados históricos. Consequentemente, a menos que as condições sócio-econômico-tecnológicas permaneçam constantes, os dados não terão significado no estabelecimento de futuros preços.

Na tarifação por custo médio é inerente a dificuldade com relação a custos conjuntos ou indivisíveis. Dessa forma, a estimação de custos devidos a cada tipo de serviço exige uma dose de arbítrio. Como exemplo, podemos citar o caso de ferrovia que efetua o transporte de carga e de passageiros. Qual é a parcela do custo de impantação da via, por exemplo, que cabe ao transporte de passageiros? Além disso, em situações em que a oferta de serviço apresenta custos médios decrescentes a longo prazo, a cobrança de tarifas segundo o custo médio geralmente redonda num volume de oferta abaixo do ótimo.

Apesar disso, a longo prazo, o custo médio tende a se estabilizar. Consequentemente, reduz a chance de discriminar os preços. Portanto, apesar das desvantagens, a tarifação por custo médio é a preferida como política padrão, ainda que não seja nos moldes rígidos e uniformes requeridos ao estabelecer tarifa de acordo com os custos médios.

#### 7.3.1.1. Tarifação por custo médio em transporte rodoviário de carga

A NTC - Associação Nacional de Empresas de Transportes Rodoviários de Carga-recomenda no seu "Manual do Sistema Tarifário" de 1986, que o valor das tarifas finais de transporte de mercadoria seja calculado considerando o custo de deslocamento de carga, o custo de carregamento e descarregamento do veículo, as despesas decorrentes da administração da empresa e a operação de terminais. A este resultado é acrescida ainda a taxa de lucro

operacional da empresa. Esse é porém uma diretriz geral pois, dadas as características próprias de cada tipo de serviço de transporte com relação a tipo de operação, necessidades administrativas, tipos de equipamentos, etc., os custos podem ser significativamente diferentes. Entretanto, apesar dessas diferenças pode ser aproveitada a estrutura geral do método de cálculo. O manual aborda vários tipos de carga.

#### *Carga comum e outras*

A forma para determinar a tarifa, apresentada abaixo, é aplicável a várias especialidades de transporte que possuam características operacionais semelhantes entre si. As especialidades para as quais se aplica o procedimento descrito a seguir são:

- Carga comum
- Carga industrial
- Lotações
- Grandes massas
- Frigorífica fracionada
- Frigorífica em lotação
- Fertilizantes e componentes
- Postes e similares
- Veículos novos

A fórmula geral para o cálculo do valor de frete dessas especialidades é:

$$F = (a + b \cdot D + DI) \cdot (1 + L/100)$$

- onde:
- F - frete-peso (Cr\$/t)
  - D - distância de viagem (km)
  - L - Lucro operacional (%)
  - a - custo do tempo de espera durante a carga/descarga (Cr\$/t)
  - b - custo de transferência (Cr\$/t.km)
  - DI - despesas indiretas advindas de administração e operação de terminais (Cr\$/t)

As formas para determinar cada termos a, b e DI são descritos a seguir:

- Carga e descarga  $a = (CF/H) \cdot Tcd / CAP$

- onde:
- a - custo do tempo de espera durante a carga/descarga (Cr\$/t)
  - CF - custo fixo (Cr\$/mês)
  - H - número de horas trabalhadas por mês (h)
  - Tcd - tempo de carga e descarga (h)
  - CAP - capacidade do veículo com ociosidade

- Custo de transferência  $b = (CF/H/V + CV) / CAP$

- onde:
- b - custo de transferência (Cr\$/t.km)
  - V - Velocidade média do veículo (km/h)
  - CV - custo variável (Cr\$/km)

- Despesas indiretas  $DI = (DAT/TEXP) \cdot C$

- onde:
- DI - despesas indiretas (Cr\$/t)
  - DAT - despesa administrativas e de terminais por mês (Cr\$/mês)
  - TEXP - tonelagem média expedida por mês (t/mês)
  - C - coeficiente de uso de terminais

### Mudanças

A mudança está entre os serviços de transporte que requer tratamento especial devido às suas peculiaridades. Neste tipo de transporte é inviável cobrar pelo serviço prestado com base no peso transportado, pois geralmente esse tipo de carga possui uma baixa densidade. Assim, para as mudanças a NTC recomenda a adoção de um método baseado no frete por metro cúbico por viagem realizada (Cr\$.m<sup>3</sup>). Para se chegar ao valor do frete-volume, parte-se de um frete base que fornece a tarifa por tonelada transportada; esse resultado é multiplicado pela capacidade do veículo (em toneladas), fornecendo a tarifa para um veículo lotado; com base numa densidade média das cargas determina-se o volume médio das mercadorias transportadas; e divide-se a tarifa do veículo pelo volume médio do veículo para se obter o valor do frete por metro cúbico.

Frete-base:

$$FB = [(CTQ/CNMT) \cdot D + DAT/TEXP] \cdot (1 + L/100)$$

onde: FB - frete-base (Cr\$/t)  
 CTQ - custo total por quilômetro percorrido (Cr\$/km)  
 CNMT - capacidade nominal máxima do veículo (t)  
 DAT - despesas administrativas e de terminais (Cr\$/mês)  
 TEXP - tonelagem média expedida por mês (t/mês)  
 L - taxa de lucro operacional (%)  
 D - distância de viagem (km)

O custo total por quilômetro percorrido (CTQ) é calculado através da seguinte fórmula:

$$CTQ = (CF/QV/D) + CV$$

onde: CF - custo fixo (Cr\$/mês)  
 QV - quantidade de viagens possíveis no período de um mês para uma distância D (viagens/mês)  
 $QV = H / (Tcd + D/V)$   
 onde: H - número de horas trabalhadas por mês (h)  
 Tcd - tempo de carga e descarga (h)  
 V - velocidade média do veículo (km/h)  
 D - distância de viagem (km)  
 CV - custo variável (Cr\$/km)

Tarifa do veículo lotado:

$$FV = FB \times CNMT$$

onde: FV - tarifa por viagem do veículo lotado  
 FB - Frete-base (Cr\$/t)  
 CNMT - capacidade nominal máxima do veículo (t)

Volume médio da carga:

$$VM = CNMK/DM$$

onde: VM - volume médio da carga (m<sup>3</sup>)  
 CNMK - capacidade nominal máxima do veículo (kg)  
 DM - densidade média da carga (kg/m<sup>3</sup>)

Frete-volume:

$$FM^3 = FV/VM$$

onde: FM<sup>3</sup> - frete-volume (Cr\$/m<sup>3</sup>)  
 FV - tarifa por viagem do veículo lotado (Cr\$/viagem)  
 VM - volume médio do veículo (m<sup>3</sup>)

Para evitar prejuízos decorrentes de pouca carga transportada, a NTC estabeleceu o frete mínimo, cobrado de todo transporte com volume de carga menor do que 25 m<sup>3</sup>.

#### *Distribuição de bebidas (carreto)*

A distribuição de bebidas, uma atividade freqüentemente vista nas cidades, requer também um tratamento especial em virtude de algumas diferenças básicas que esta especialidade apresenta em relação aos outros tipos de serviço de transporte já apresentados. Dentre as principais características pode-se citar por exemplo o tipo de veículo, que é de menor porte e é equipado com um tipo de carroçaria projetada especialmente para a operação. Mas o mais importante é a diferença de formas, pesos e volumes dos bens transportados. Assim, torna-se necessário definir primeiramente as quantidades de bebidas possíveis de se transportar em um veículo completamente carregado com os tipos de volumes comumente encontrados. Estes valores são apresentados abaixo.

| Volumes               | quantidades |
|-----------------------|-------------|
| 200 ml                | 496 dz      |
| 300 ml                | 480 dz      |
| 500 ml                | 346 dz      |
| 600 ml                | 346 dz      |
| 1.000 ml              | 200 dz      |
| Barris (30 l)         | 100 un      |
| Barris (50 l)         | 90 un       |
| Bandejas com 24 latas | 500 un      |

Uma das características notadas pela NTC é que as distâncias entre os depósitos e os pontos de revenda geralmente não ultrapassam 300 km. Assim, determinou o valor para a distribuição de cada um dos volumes apresentados na tabela acima, para distâncias que vão de 1 a 300 km. O valor cobrado por unidade de entrega (dz ou un), chamado de carreto, que representa a remuneração pelo serviço de transporte e entrega de bebidas nos pontos de venda, é determinado da seguinte forma:

$$C = CMV/Q$$

onde: C - carreto (Cr\$/dz ou Cr\$/un)

CMV - custo médio por viagem (Cr\$/viagem)

$$CMV = (CF + CV \cdot K + DAT/N) \cdot (1 + L/100)/NV$$

onde: CF - custo fixo mensal do veículo (Cr\$/mês)

CV - custo variável por km (Cr\$/km)

K - quilometragem percorrida por mês com o veículo (km)

DAT - despesas administrativas e de terminais para uma empresa de distribuição de bebidas (Cr\$/mês)

N - número de veículos de uma empresa padrão (50 veículos)

L - lucro operacional (%)

NV - Número de viagens possíveis para uma determinada distância no período de um mês.

Q - quantidade de bebida possível de se transportar com um veículo a plena carga (dz ou un).

O custo médio por viagem representa todos os custos decorrentes da operação do veículo e da administração da empresa é determinado conforme a expressão abaixo:

### 7.3.1.2. Tarifação por custo médio em transporte público de passageiros por ônibus

A tarifação por custo médio é adotada pela maior parte dos transporte público urbano das cidades brasileiras. Em geral, em nossas cidades a tarifa de transporte coletivo é estabelecida da seguinte maneira. A empresa concessionária do serviço entrega uma planilha contendo o gasto total, a quilometragem total percorrida, e o número de passageiros transportados referentes a um determinado período. O cálculo é feito impondo-se a condição de igualdade entre o custo total e a receita total. Se todos pagassem a tarifa integral, a tarifa seria de:

$$P = CT/N$$

onde: CT - custo total do período considerado;  
P - tarifa de ônibus; e  
N - número de passageiros transportados no período.

Caso uma parcela dos usuários de ônibus ( $N_{p_1}$ ) tenha passe a preço  $P_{p_1}$ , e a outra parcela dos usuários ( $N_{p_2}$ ) a preço  $P_{p_2}$ , então a igualdade entre custo total e a receita total pode ser escrita conforme mostra a equação abaixo.

$$CT = P_{p_1} \cdot N_{p_1} + P_{p_2} \cdot N_{p_2} + P_i (N - N_{p_1} - N_{p_2})$$

Fazendo  $P_{p_1} = \alpha_1 \cdot P_i$ , e  $P_{p_2} = \alpha_2 \cdot P_i$ , podemos expressar o valor da tarifa integral a ser estabelecido.

$$P_i = \frac{CT}{N - (1 - \alpha_1) \cdot N_{p_1} - (1 - \alpha_2) \cdot N_{p_2}}$$

### 7.3.1.3. Tarifação pelo custo médio aplicável à alocação de custo rodoviários indivisíveis

Através deste exemplo será determinada a tarifa apropriada para o uso das rodovias. A idéia básica é dividir os usuários de uma rodovia em classes, cada qual provocando um diferente nível de gasto por unidade de uso (por exemplo, veículo-km ou eixo-km). Supondo, então, que os usuários sejam divididos em N classes, sendo a 1 a classe de mínimo custo por unidade de uso, a 2 a classe de segundo menor custo, e assim por diante. A quantidade de uso de cada classe é de  $U_1$  para classe 1,  $U_2$  para classe 2, etc. A princípio vamos supor que todos os usuários, de classe 1 a N, gastem o correspondente a  $C_1$ , o gasto da classe 1; que todos os usuários menos os pertencentes a classe 1 têm um gasto adicional de  $C_2$ ; que todos os usuários menos os pertencentes a classes 1 e 2 têm um gasto adicional de  $C_3$ ; e assim por diante. Só a classe N terá o gasto adicional  $C_N$ . Note que o custo total da classe N será  $C_1 + C_2 + \dots + C_N$ . O gasto  $C_1$  deve ser rateado entre todos os usuários, de maneira que o preço cobrado por unidade de usuário da classe 1 será de:

$$p_1 = C_1 / (U_1 + U_2 + \dots + U_N)$$

O gasto adicional por unidade de usuário da classe 2 é dado pela expressão  $p_2'$  e o preço cobrado de cada unidade de usuário da classe 2 é dado pela expressão  $p_2$ :

$$g_{22} = C_2 / (U_2 + U_3 + \dots + U_N)$$

$$p_2 = p_1 + C_2 / (U_2 + U_3 + \dots + U_N)$$

Repetindo o raciocínio, o gasto adicional da Classe N é dado pela expressão  $g_N$  e o gasto total pela  $p_N$ :

$$g_{aN} = C_N / U_N$$

$$p_N = p_1 + g_{22} + g_{33} + \dots + C_N / U_N$$

Vejam agora a receita total:

$$RT = p_1 \cdot U_1 + p_2 \cdot U_2 + \dots + p_N \cdot U_N$$

$$RT = p_1 \cdot U_1 + (p_1 + g_{22}) \cdot U_2 + (p_1 + g_{22} + g_{33}) \cdot U_3 + \dots + (p_1 + g_{22} + g_{33} + \dots + g_{aN}) \cdot U_N$$

$$RT = p_1 (U_1 + U_2 + \dots + U_N) + g_{22} (U_2 + U_3 + \dots + U_N) + \dots + g_{aN} \cdot U_N$$

$$RT = C_1 + C_2 + \dots + C_N \quad \text{que é o custo total.}$$

### 7.3.2. Tarifação pelo valor do serviço

A tarifação pelo valor de serviço é o estabelecimento da tarifa equivalente ao valor do serviço prestado, ou a cobrança do valor que usuários podem suportar. É um critério que ignora os custos. Normalmente os objetivos são a maximização do lucro ou a minimização do prejuízo a ser obtido pela discriminação monopolística de preço. A tarifa teria como limite superior o valor de se obter o serviço de uma fonte alternativa, porém que não impeça o transporte. Portanto, podemos cobrar diferentes preços, desde que a oferta de cada tipo de serviço contribua para a receita total, pelo menos com o montante de seu custo variável. Para que se possa cobrir o custo total, cada tipo de serviço prestado deve contribuir com uma quantia suplementar que é fixada de acordo com a elasticidade da demanda pelo serviço em relação ao preço. No caso de transporte de mercadorias, seus valores refletem relativamente bem a elasticidade. Quanto maior for o seu valor por unidade de peso, tanto menor será a proporção do encargo devido a transporte, ou seja, quanto maior o valor da mercadoria por unidade de peso menor será a elasticidade da demanda por transporte daquela mercadoria em relação ao seu custo de transporte.

Este esquema de tarifação é geralmente adotado por empresas para reduzir sua capacidade ociosa. É comum nas indústrias ferroviárias, e não raramente é aplicado nos transportes aéreos, rodoviários ou hidroviários. Para que a aplicação deste esquema de tarifação tenha sucesso, é preciso que se verifiquem a existência de seguintes condições:

- Deve haver um certo grau de monopólio;
- Deve haver diferenciação entre usuários; e
- Deve haver mercadorias cujas elasticidades em relação ao preço de transporte sejam diferentes.

Uma das vantagens da tarifação pelo valor do serviço é que as mercadorias de maior valor paguem o custo da via, e com isso torna-se possível o transporte de mercadorias menos valiosas. Consequentemente a infraestrutura é utilizada com maior intensidade.

No entanto, o esquema provoca também alguma distorção, principalmente no que se refere a alocação de recursos, uma vez que o preço é estabelecido em função da elasticidade de demanda, sem considerar o custo de fornecimento do serviço. Outra desvantagem da tarifação pelo valor de serviço está na dificuldade de sua implantação, pois o método exige conhecimento das elasticidades e demandas de várias mercadorias, bem como os seus custos e as receitas marginais. Além disso, esses elementos devem ser periodicamente atualizados para captar as tendências do usuário e as ameaças de entrada de competidores no mercado.

### 7.3.3. Tarifação pelo custo marginal.

É a tarifação na qual cada um paga pelo serviço o custo incremental de produzi-lo. Este método, ao contrário da tarifação pelo custo médio, não depende dos custos históricos e sim dos custos futuros. Para se conhecer o custo marginal, devemos fazer a seguinte pergunta: quanto custará o provimento da próxima unidade de transporte? A tarifa da unidade de transporte será igual ao valor da resposta que é o custo marginal do serviço.

Uma das vantagens deste critério de tarifação é que, se uma empresa com rendimento crescente de escala se baseia na curva de custo marginal para estabelecer o preço, a sociedade se beneficiará, pois o preço do serviço será avaliado de acordo com os custos incorridos. Isto significa que será cobrado o preço mais baixo possível pelo serviço e, conseqüentemente, a demanda pelo serviço aumentará, resultando em aumento de produtividade. Além disso, a tarifação por custo marginal é um meio de fazer com que o operador mais eficiente ofereça o serviço.

Pelo menos em princípio o custo marginal de cada usuário pode ser identificado e quantificado, embora na prática não seja uma tarefa muito simples. As principais dificuldades são as seguintes:

- a) Na maioria dos casos, o custo marginal de prover e manter um equipamento de transporte está bem abaixo do custo médio, o que significa que se for adotado esse princípio de tarifação a receita oriunda da tarifa não cobre o custo total, necessitando de subsídios;
- b) Muitas vezes os valores anuais do custo marginal dependem da política gerencial com relação a operação e manutenção. Por exemplo, a adoção de uma política enfatizando manutenções plurianuais pode resultar em custos diferente daquela que enfatiza manutenções anuais;
- c) Outra dificuldade está relacionada à maneira de subsidiar as empresas, particularmente as privadas, de maneira a, de um lado garantir a continuidade da prestação de serviço e de outro evitar a má aplicação dos recursos públicos.
- e) No caso de um monopólio, a fixação de preço igual ao custo marginal não assegura necessariamente baixos custos operacionais, pois a certeza de cobertura dos custos através de subsídios poderia incentivar a ineficiência.
- f) A tarifação por custo marginal produz o bem estar social máximo apenas sob circunstância muito restrita: não deve existir nenhuma distorção de mercado, e a economia deve ser perfeitamente competitiva onde todos os setores da economia seguissem a regra de tarifação por custo marginal.

#### 7.3.3.1. Custo marginal com discriminação de preços

A discriminação de preço é utilizada para maximizar o lucro da empresa nas condições em que a empresa oferece dois serviços diferenciados para mercados distintos. Exemplo disso se vê

com maior frequência no transporte aéreo, hidroviário e ferroviário. Estes oferecem serviços diferenciados em classes A, B, C ou classe executiva, classe econômica, etc., visando atender os diferentes tipos de usuários. Vejamos graficamente como se diferenciam os preços:

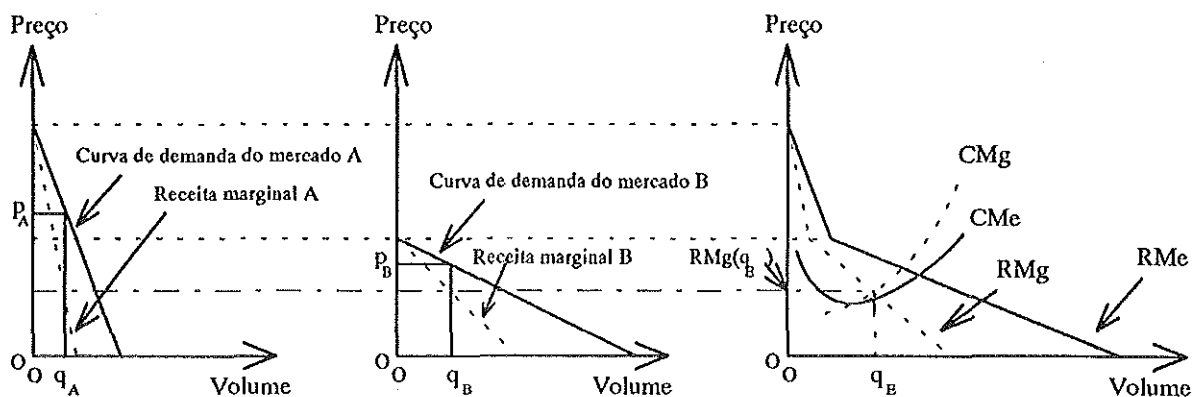


Figura 7.2: Discriminação de preço em dois mercados distintos

A Figura 7.2 mostra dois mercados distintos, A e B, em que o primeiro é constituído por pessoas pertencentes a classe sócio-econômica privilegiada, enquanto que o mercado B é formado por pessoas pertencentes a classe menos favorecida. O gráfico da direita mostra o mercado total que engloba os dois mercados. A oferta de serviço tem uma estrutura cujos custos unitários estão apresentadas no mesmo gráfico. A empresa conseguirá maximizar o lucro desde que o custo marginal da empresa iguale à receita marginal da empresa no mercado global. É importante lembrar que nessa circunstância a receita marginal nos dois mercados devem ser iguais, pois caso elas sejam diferentes, a empresa tenderia a vender uma unidade de serviço a mais no mercado cuja receita marginal é maior, em detrimento do outro mercado. A receita marginal do mercado global determina, através das curvas de demanda, o nível de preço nos mercados,  $p_A$  e  $p_B$ . Uma observação importante é que a empresa deve possuir o controle monopolístico de um ou de todos os mercados.

#### 7.4. Tarifa como instrumento para disciplinar o uso da infra-estrutura

Para fazermos a análise da tarifa como instrumento para disciplinar o uso da infra-estrutura de transporte, precisamos mudar o ponto de vista. Agora, os beneficiários que nos interessa não são os operadores mas sim os usuários. Além disso, embora geralmente estejamos recorrendo a unidade monetária para medir o benefício do usuário, este não está necessariamente ligado a dinheiro; uma pessoa se dispõe a pagar uma determinada quantia por uma viagem, não só para levar alguma vantagem financeira no destino; ela pode estar disposta a até pagar mais para visitar um parente doente. De qualquer forma, ao realizar essas viagens, sejam elas financeiramente rentáveis ou não, a pessoa se sentirá melhor; aliás ela se decide a empreender essa viagem justamente por isso, embora geralmente não se tenha consciência disso. Assim, de uma maneira genérica, podemos dizer que a quantia que uma pessoa está disposta a pagar é uma medida do bem-estar adicional que a viagem lhe proporcionará. Consequentemente, o termo benefício marginal da  $q$ -ésima viagem denota a magnitude do bem-estar adicional proporcionado pela  $q$ -ésima viagem. A curva de demanda estabelece a relação entre a  $q$ -ésima viagem e a quantia máxima que uma pessoa está disposta a pagar. Portanto, a curva de demanda coincide com a curva de benefício marginal. Uma observação importante é que ao tratarmos de benefícios e custos para usuário, *devemos considerar* tanto os custos monetários como os não monetários



(tempo de viagem, desconforto, etc.), ou seja, temos que retornar às considerações feitas no Capítulo 6, Equilíbrio entre Demanda e Oferta, tanto para a demanda como para a oferta.

Pergunta-se: qual é o volume de viagem, digamos por uma rodovia, que maximiza o bem estar de todos os usuários? A resposta é: quando o custo marginal da viagem for igual ao benefício marginal. (Obs: é importante lembrar que do ponto de vista do operador, a curva de demanda coincide com a curva de receita média -benefício médio do operador- e não com a curva de receita marginal -benefício marginal do operador), pois a este volume de viagem, o custo adicional provocado pela viagem de mais uma pessoa iguala o benefício incremental obtida por ela. Para um menor número de viagens, o benefício incremental é maior do que o custo incremental. O inverso ocorre quando o número de viagem pela rodovia ultrapassa aquele volume. Os detalhes podem ser vistos na Figura 7.3. O volume que maximiza o benefício dos usuários como um todo é  $q_A$ .

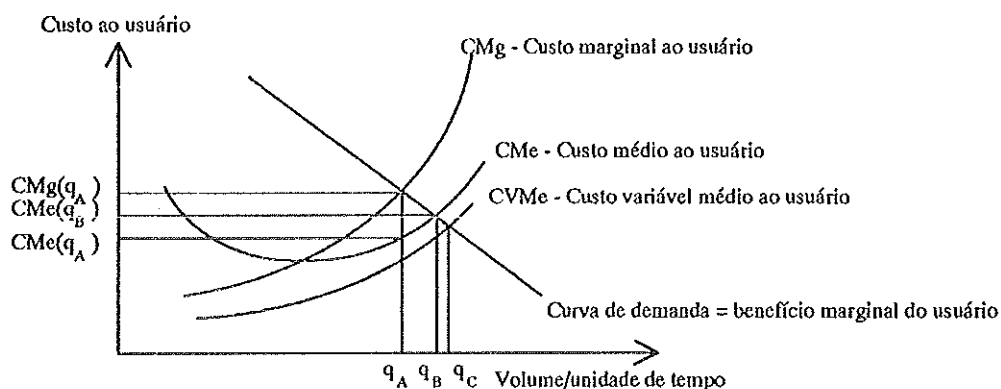


Figura 7.3: Custos e benefícios unitários para os usuários de um componente do sistema de transporte

Quando a curva de custo médio (CMe) intercepta a curva de demanda à direita do ponto de custo médio mínimo, considera-se que é um caso de alta demanda, em que ocorrem congestionamentos. A curto prazo, os únicos custos afetados pelo volume de tráfego são os variáveis, que aliás são os únicos custos percebidos pelos usuários. Por outro lado, o custo marginal (CMg) mede o incremento no custo total para o conjunto de usuários provocado pela entrada de mais um usuário no sistema. No intervalo que vai de  $q = 1$  até  $q = q_A$ , usuários vão engorrossando o fluxo de tráfego porque o *seu* benefício (medido na curva de demanda) é maior do que o custo percebido (medido na curva de custo variável médio). E, embora usuários não saibam, o benefício total do conjunto de usuários também aumenta. No entanto, quando o volume passa de  $q_A$  (até  $q_C$ ), embora cada um dos novos usuários esteja se beneficiando isoladamente, o benefício total do conjunto de usuários (medido na curva de custo marginal), passa a diminuir.

Desde que usuários apenas consideram os seus custos privados, o fluxo se estabilizará em  $q_C$ , com custo de  $CVMe(q_C)$ . Consequentemente, se quisermos maximizar o benefício líquido, devemos usar algum dispositivo ou mecanismo para assegurar que o fluxo seja limitado a  $q_A$ . Pois caso contrário o benefício líquido será sub-ótimo, o que significa que o benefício será menor do que o previsto. Além disso, não basta limitar o fluxo, pois uma simples limitação quantitativa dará possibilidade de pessoas com benefícios menores do que  $CMg(q_A)$  deslocarem usuários com benefícios maiores do que este valor. Na verdade aqueles "tomariam" o lugar destes. Para que tenhamos resultado economicamente eficiente, é preciso garantir que indivíduos que tiverem benefícios menores do que o valor equivalente a  $CMg(q_A)$  se abstenham de viajar naquela estrada.

Pelo menos teoricamente, um mecanismo de tarifação, tais como pedágios ou outro tipo de tarifas, parece ser um mecanismo eficiente para realizar este tipo de controle. Este tipo de tarifação, que visa a maximização do bem estar coletivo denomina-se tarifação pelo custo marginal social. No nosso caso, o valor do pedágio a ser cobrado seria:

$$\text{Valor do pedágio} = \text{CMg}(q_A) - \text{CVMe}(q_A) \quad (7.5)$$

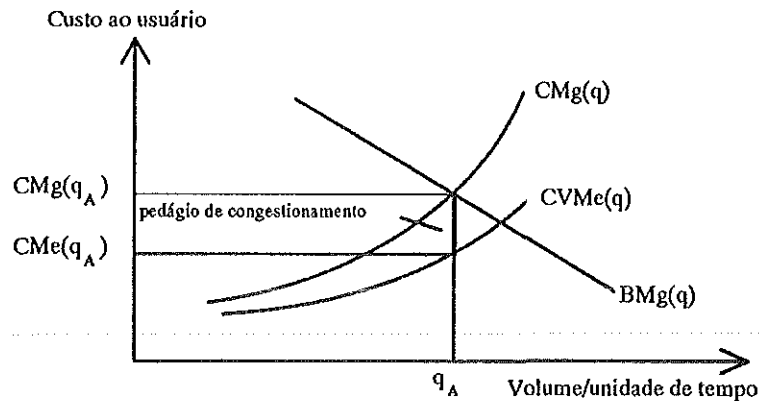


Figura 7.4: Pedágio economicamente eficiente.

Lembre-se que o pedágio é apenas um dos componentes do custo ao usuário. Os outros componentes são: custo monetário do transporte, tempo de viagem, esforço físico, etc. Note-se que a cobrança do pedágio assegura que apenas os indivíduos com benefícios marginais maiores do que o custo marginal para  $\text{CMg}(q_A)$  decidiriam viajar, garantindo assim o benefício líquido máximo. Dessa forma, a tarifação desempenha um importante papel na utilização eficiente (economicamente falando) das infra-estruturas de transporte.

Além disso, a cobrança do pedágio passa para a população em geral a idéia de que está fazendo justiça, cobrando de quem usa a rodovia, o que é politicamente interessante, embora na realidade não faça muita diferença. O pedágio pago por caminhoneiros que transportam arroz, por exemplo, ele repassa esse valor ao preço do arroz, que é pago pela população em geral. O pedágio assim arrecadado poderá ser usado para cobrir os custos de manutenção da rodovia, e a população desembolsará menos em forma de imposto. No final das contas a diferença é insignificante.

Esse tipo de tarifação tem um amplo campo de aplicação, tais como em estacionamentos, inclusive no meio fio, e outros equipamentos urbanos.

#### 7.4.1. Discussões sobre as diferentes políticas de tarifação por custo marginal social

Num mundo econômico perfeito, a política de tarifação pelo custo marginal social maximiza os benefícios líquidos totais. Porém, existem três razões que dificultam a adoção desta política como uma política de tarifação prática. Em primeiro lugar, a adoção dessa política implica na existência de diferentes preços ao longo do dia, da semana, do mês, e do ano, pois a demanda flutua ao longo do dia. Em segundo lugar, o sistema de cobrança das diferentes tarifas teria um custo elevado, sobretudo pela confusão e demora causadas pela variedade de tarifas. Finalmente, a formulação de uma apropriada função custo marginal seria difícil devido ao problema de captar as pequenas modificações no tempo de viagem.

Dessa forma, na prática, provavelmente serão escolhidas políticas de tarifação com menos diferenciação. Entre outras possibilidades, poderão ser consideradas a política de taxas e tarifas uniformes ou, caso se pretenda implantar o sistema de taxas e tarifas diferenciadas ao longo do tempo, com poucas mudanças (em três ou quatro períodos diferentes durante o dia). Invariavelmente cada um desses esquemas envolve discriminação de preço ou subsídio de uma forma ou de outra e é preciso partir de uma condição idealizada sob a qual é conseguida a eficiência máxima. Resta então estimar os benefícios e custos destas políticas de tarifação e compará-los a fim de se ter um a melhor política de tarifação. Leitor que estiver interessado em aprofundar na questão poderá consultar o livro "Transportation Investment and Pricing Principles" de Wohl e Hendrickson (1984).

### Exercícios

7.1. O custo marginal (CMg) de um trecho de uma rodovia é  $CMg = 200 + 0,00002 \cdot q^2$  e o custo percebido pelo usuário (CP) é de  $CP = 130 + 0,000006 \cdot q^2$ , onde  $q$  é o fluxo horário de automóveis.

Sabendo-se que a equação da demanda tem a forma  $q = 4000 - 10 \cdot CP$ , pergunta-se:

- Qual é o fluxo horário resultante na rodovia sem a cobrança de pedágio?
- Qual é o valor do pedágio a ser cobrado para aumentar a eficiência econômica (social) do trecho, e qual é o fluxo horário de equilíbrio quando se cobra esse pedágio?

7.2. Para a empresa de transporte coletivo de passageiros descrita no exemplo da página 92, pede-se determinar a tarifa (integral) que ela deve cobrar, na situação de lucro extraordinário nulo, considerando-se que o número de usuários pagantes é de 1.553.414 passageiros por mês. Considerar, também, que algumas categorias de usuários adquirem passes com desconto, conforme estão indicadas na tabela abaixo.

Categoria de usuários e classes de desconto

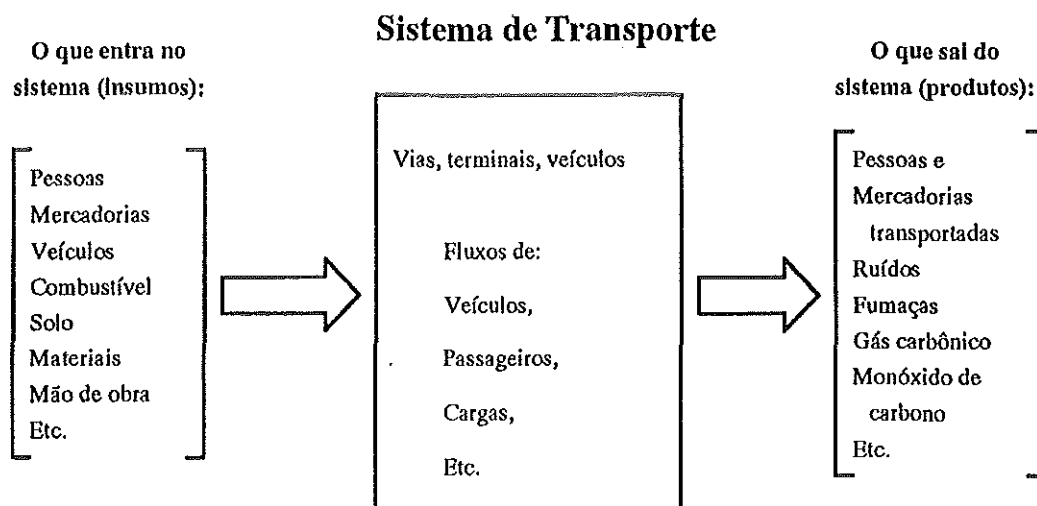
| Classe Desconto | Categoria de usuário   | Número de usuários por mês |
|-----------------|--|----------------------------|
| 40%             | Domésticas   | 17.633                     |
|                 | Estudantes   | 692.470                    |
|                 | Aposentados, pensionistas e operários que ganham até 1 SM    | 31.402                     |
| 20%             | Aposentados, pensionistas e operários que ganham de 1 a 2 SM | 48.516                     |
|                 |  | Total 790.021              |

## 8. IMPACTOS AMBIENTAIS

### 8.1. Introdução

Inicialmente, vamos tentar entender o que é um ambiente. Segundo o Novo Dicionário Aurélio, ambiente é aquilo que cerca ou envolve os seres vivos ou coisas, por todos os lados. Portanto, ambiente existe em relação a alguma coisa. Uma árvore pode fazer parte do ambiente de um homem, enquanto que o homem pode ser um dos constituintes do ambiente da árvore.

Portanto, quando estudamos os impactos ambientais causados por um sistema de transportes, estamos interessados nos impactos que o sistema de transporte causa em tudo aquilo que o rodeia. Esquemáticamente, se considerarmos o sistema de transporte encerrado num retângulo, o seu ambiente é tudo que se encontra fora dele.



Tratando-se de um sistema de transporte urbano, o seu ambiente é constituído de atividades desenvolvidas nas residências, no comércio, nas indústrias, nas escolas, nos outros setores de serviços, etc.

Os elementos que estão cruzando os lados do retângulo que separam o sistema de transportes do seu ambiente são os ítems que entram e saem do sistema. Os que entram são, de um lado, os insumos consumidos na produção de transporte e, de outro, cargas e pessoas a serem transportadas. Os que saem do sistema são as coisas transportadas, e os subprodutos, geralmente indesejáveis, do processo de produção de transporte, tais como monóxido de carbono, ruídos, fumaça, etc. Os passageiros e as cargas entram e saem do sistema através dos terminais, enquanto que os subprodutos são expelidos ao longo do percurso.

Alguns ítems dos insumos saem do sistema da mesma forma que entraram. É o caso dos que trabalham no sistema. Se bem que, a rigor, os trabalhadores sejam apenas vetores da força de trabalho que é dissipado em operação, manutenção, fiscalização, etc, da mesma forma que o combustível que é transformado em força tratora. Por outro lado, muitos insumos (veículos, por exemplo) não "desaparecem" como combustível. É que o seu desgaste ocorre tão lentamente, que leva, às vezes, dezena de anos até esgotar a sua vida útil e ser alijado do processo produtivo.

Existem muitos outros insumos ou produtos que entram ou saem do sistema. Poluentes são emitidos do sistema para o seu ambiente como resultado da queima de combustível. Existe também o ruído que é gerado pelos solavancos, pelos motores dos veículos e pelos atritos entre alguns componentes do sistema. Por outro lado, o oxigênio do ar, por exemplo, é um insumo fundamental para o funcionamento dos motores de ciclo Otto, apesar disso ele não costuma ser lembrado e contabilizado como insumo, simplesmente porque existe em abundância na natureza. A água é outro insumo do qual freqüentemente esquecemos de considerar, mas ela é utilizada para arrefecer os motores, para lavagem de veículos, terminais, etc. Ainda que esses insumos não sejam transacionáveis no mercado, são importantes recursos da natureza, e como tal devemos considerá-los para a completa análise do custo de transporte no sentido mais amplo.

Em suma, nós devemos ter a consciência de que os insumos e produtos que empresários ou administradores de empresas de transporte geralmente contabilizam são parciais, eles dizem respeito aos desembolsos ou ganhos de suas empresas. Conforme discutimos no Capítulo 4, Custos de Transporte, os empresários analisam os custos, e também os benefícios, adotando o seu ponto de vista. Do ponto de vista da sociedade como um todo, porém, o sucesso das empresas não passa de um ítem desejável, uma vez que a sociedade precisa de um transporte eficiente e eficaz, mas não é o bastante. É preciso que a produção de transporte seja feita sem agredir o meio ambiente.

## **8.2. Impactos sobre o ambiente natural.**

No momento parece-nos que a sociedade está preocupada principalmente com dois tipos de impactos ambientais causados pelo transporte: poluição sonora e poluição do ar. Vamos então discutir um pouco sobre cada um destes ítems.

### **8.2.1. Poluição sonora**

Quando falamos de poluição sonora estamos nos referindo a sons indesejáveis. Coincidentemente, a maioria dos sons emitidos pelo sistema de transporte é indesejável, às vezes porque esses sons, ou ruídos, prejudicam o bom desempenho de algumas atividades humanas, e às vezes porque eles podem prejudicar a audição das pessoas. Imagine o desconforto que causam os ruídos de aviões a jato em decolagem àqueles que moram na vizinhança de aeroportos. Ou então os ruídos que moradores dos arredores das ferrovias ou rodovias são obrigados a suportar. Claro, existem muitos sons úteis: as chamadas, nos terminais para as

partidas de ônibus, trens ou aviões; o som da campainha no cruzamento em nível de rodovia com ferrovia; etc.

O som é basicamente descrito em função de duas características: altura e intensidade. A intensidade é relacionada a pressão exercida pelo som; e a altura é determinada pela frequência das vibrações. A unidade de medida de pressão sonora é  $N/m^2$ , e, a menor pressão sonora perceptível ao ser humano é tido como sendo a pressão de  $2 \times 10^{-5} N/m^2$ . A maior pressão sonora que um ouvido humano pode perceber é da ordem de  $100 N/m^2$ . É a intensidade que pode causar dor intensa ou até mesmo a surdez.

A unidade padrão para se medir sons é o decibel (dB), definido de acordo com a percepção humana. A cada 10 dB que se aumenta, tem-se a impressão de que duplicou o nível de som. Em termos do estímulo físico, cada vez que uma pressão sonora é multiplicada por 3.17, tem-se a sensação de ter dobrado o nível de som. Assim, começando pela pressão de  $P_0 = 2 \times 10^{-5} N/m^2$  que é o limiar de percepção, quando se tiver  $P_1 = 6.34 \times 10^{-5} N/m^2$ , ou seja, uma pressão sonora 3.17 vezes maior do que o valor do limiar, ter-se-á impressão de que o nível de pressão do som dobrou, e a esse valor de pressão corresponde um nível de pressão do som de 10 dB. Multiplicando-se  $P_1$  por 3.17 tem-se  $P_2 = 20,0 \times 10^{-5} N/m^2$ , que corresponde a 20 dB, e assim por diante. A equação abaixo mostra como o estímulo físico (pressão sonora) está relacionada a sensação (nível de pressão do som).

$$NPS = 10 \cdot \log\left(\frac{P}{P_0}\right)^2 \quad (8.1)$$

onde:

NPS - é o nível de pressão do som em decibel;

P - é a pressão sonora; e

$P_0$  - é a menor pressão sonora perceptível ao ser humano ( $2 \times 10^{-5} N/m^2$ ); e

10 - é o fator de conversão da unidade bel para decibel. 10 decibéis equivalem 1 bel.

Em termos de limites fisiológicos do ser humano, o limite inferior é 0 dB que corresponde a  $2 \times 10^{-5} N/m^2$ , e o superior, 134 dB que corresponde a  $100 N/m^2$ . Na natureza, dificilmente o nível de som está abaixo de 25 dB. No meio urbano, por exemplo, os níveis de sons variam geralmente entre 30 e 100 dB.

Sabendo-se que a intensidade (I) da onda plana é relacionada à pressão P segundo expressão

$$I = \frac{P^2}{\rho \cdot c} \quad \Rightarrow \quad P^2 = I \cdot \rho \cdot c \quad \text{e} \quad P_0^2 = I_0 \cdot \rho \cdot c,$$

onde  $\rho \cdot c$  é a impedância característica da mediana (para  $20^\circ C$ ,  $\rho \cdot c$  é 415 MKS rayls - (1MKS rayls =  $1 kg/m^2s$  é uma unidade de medida de impedância acústica específica), o NPS pode ser escrita em termos de intensidade, ou fluxo de energia por unidade de área:

$$NPS = NI = 10 \cdot \log\left(\frac{I}{I_0}\right) \quad (8.2)$$

onde: NI - é o nível de intensidade percebida (dB);

I - é a intensidade do som em questão ( $W/m^2$ );

$I_0$  - é a intensidade de referência ( $10^{-12} W/m^2$  que corresponde a pressão de  $2 \times 10^{-5} N/m^2$ ).

Na realidade, a impedância característica varia levemente entre a intensidade limiar e a intensidade em questão. E essa variação provoca uma diferença de 0,2 dB entre NPS e NI, que para efeitos práticos pode ser desprezada.

Por intermédio da Equação 8.2 podemos notar que a duplicação da fonte sonora, por duas buzinas de 80 dB cada ao invés de uma de 80 dB, elevará o nível de intensidade sonora de apenas 3 dB. A demonstração disso é simples: vamos substituir o nível I por 2I na Equação 8.2.

$$NPS_{2\text{ fontes}} = NI_{2\text{ fontes}} = 10 \log(2I/I_0) = 10 [\log 2 + \log(I/I_0)] = 10 \log 2 + 10 \log(I/I_0) = 3 + NI_{1\text{ fonte}}$$

Com relação à influência da distância, devemos lembrar que quando se trata de **fonte puntual** o som se propaga formando superfícies esféricas em torno da fonte. Como a área de esfera é proporcional ao quadrado do raio, quando se dobra o raio mantendo-se constante a energia emitida pela fonte, o fluxo de energia por unidade de área da esfera reduz-se para 1/4, provocando a redução de 6 dB ( $10 \cdot \log 1/4$ ) no NPS. E, toda vez que se diminui a distância para metade, o NPS aumenta de 6 dB ( $10 \cdot \log 4$ ).

Por outro lado, quando se trata de **fonte linear** o som se propaga concentricamente em relação à fonte linear, formando superfícies cilíndricas. A superfície do cilindro é proporcional ao raio. Mantendo-se constante a energia emitida pela fonte, o fluxo de energia por unidade de área reduz-se a metade quando se dobra a distância. Com isso o NPS fica reduzido de 3 dB. E, aumenta-se 3 dB toda vez que a distância for diminuído para metade.

Conforme dissemos anteriormente, a percepção do som é basicamente uma função de altura e de intensidade. O ser humano é mais sensível aos sons que estão compreendidas entre 1.000 e 2.000 Hz. Os sons de uma dada pressão sonora, que estejam situados nessa faixa de frequência, são percebidos por uma pessoa como sendo mais altos do que aqueles cuja frequência é de 100 ou 10.000 Hz. Conseqüentemente, se pretendemos medir o nível de ruído que é efetivamente percebido pelo homem, devemos atribuir maiores pesos às frequências que causam sensações mais intensas. A escala de mensuração do som que é ajustada também a essa outra característica humana é a escala decibel com ponderação A, e a sua unidade é dBA. Para se ter uma idéia dessa unidade, vamos apresentar a Tabela VIII.1 contendo a descrição do tipo de som, o nível de ruído em dBA e a sensação causada.

Tabela VIII.1

| Tipo de som  | nível   | Sensação                  |
|--|---------|---------------------------|
| Relógio em funcionamento, roçar de folhas, sussurros, chuveiro | 30 dBA  | muito baixo               |
| Ruído do trabalho doméstico/ Rua residencial calma             | 40 dBA  | razoavelmente baixo       |
| Conversa   | 50 dBA  | normal                    |
| Ruído de escritório  | 60 dBA  | normal                    |
| Conversa ruidosa, gritos, veículos circulando a 10 m           | 70 dBA  | alto                      |
| Ruído de tráfego pesado  | 80 dBA  | alto                      |
| Fábrica barulhenta   | 90 dBA  | muito alto a insuportável |
| Buzina de veículo a 7 m  | 100 dBA | muito alto a insuportável |
| Caldeiraria  | 110 dBA | muito alto a insuportável |
| Avião  | 120 dBA | muito alto a insuportável |

Fonte: Tráfego e Meio Ambiente.

Ao fazermos uma medição e, principalmente termos um índice do incômodo causado pelo ruído, devemos ter em mente que: a) o nível de ruído varia continuamente no tempo e no espaço; b) a intensidade e o espectro de frequência do ruído varia para cada modo de transporte; e c) o nível de ruído que chega até um observador depende da distância que o separa da fonte de ruído, e também do nível de ruído ambiente. Assim, para o ruído de tráfego (automóveis, veículos pesados e motocicletas) a medida considerada a mais adequada é a escala dBA. E, para os aviões, considera-se que a medida mais apropriada seja o PNdB (Perceived Noise Level). A grosso modo, podemos expressar o valor de PNdB em função do dBA:  $PNdB = dBA + 13$ . A relação é válida para uma grande variedade de espectro.

Os níveis máximos permissíveis de sons e ruídos produzidos por veículos em todo o território nacional estão determinados pela Resolução No. 448/71 do CONTRAN - Conselho Nacional de Trânsito. Os índices máximos permitidos são:

- Para veículos de passageiros e de uso misto (exceto ônibus), motonetas, motocicletas e bicicletas com motor auxiliar: 84 dBA.
- Para veículos de carga, ônibus, máquinas de tração agrícolas, máquinas industriais de trabalho e demais veículos:
  - até 185 C.V.: 89 dBA
  - acima de 185 C.V.: 92 dBA

Para os sons de buzina e equipamentos similares produzidos por veículos nas vias urbanas, o índice máximo permitido é de 104 dBA.

#### 8.2.1.1. Método de previsão de ruído

Se os impactos dos ruídos causados por sistemas de transporte sobre o meio ambiente nos preocupam, então é importante que tenhamos métodos para estimar os impactos que poderão ocorrer no futuro sob uma determinada condição de operação do sistema. É então necessário que o nível de ruído possa ser calculado em função do tráfego e dos parâmetros relacionados com o local e o sistema viário.

Basicamente existem três métodos de previsão: a) métodos empíricos; b) método dos modelos reduzidos; e c) modelos teóricos. O maior desenvolvimento foi atingido pelos métodos empíricos, razão pela qual aqui trataremos de um deles, a voltada para previsão de ruídos provocados pelo tráfego rodoviário. O modelo empírico que veremos aqui foi desenvolvido em 1977 e constitui ainda o estado da prática para a previsão do nível de ruído. À primeira vista pode parecer que o método desenvolvido há 16 anos já esteja ultrapassado. No entanto, ressaltamos que esses métodos empíricos foram desenvolvidos considerando as características tecnológicas dos veículos da época. E, por coincidência, os veículos automotores atualmente produzidos no Brasil usam, com raras exceções, tecnologias americanas ou européias daquela época, o que nos leva a crer que os métodos não sejam tão inadequados ao Brasil.

#### Método FHWA

Este é um dos métodos americanos publicado no Relatório FHWA-RD-77-108 do FHWA "Federal Highway Administration". A FHWA resolveu desenvolver um método para previsão de ruído provocado por tráfego rodoviário porque identificou várias falhas nos métodos até então existentes. O nível médio de emissão de energia é um conceito incorporado no Relatório, e que leva em consideração o efeito de densidade de tráfego na rodovia. Um veículo isolado é uma fonte puntual de ruído, portanto, conforme discutimos anteriormente, o nível de ruído decai de 6



dB com a duplicação da distância, enquanto que quando a densidade de tráfego for elevada a fonte se torna linear, e provoca o decaimento de ruído de 3 dB quando se dobra a distância.

O nível médio de emissão de energia de referência para cada uma das três classes de veículos (automóveis, caminhões médios, e caminhões pesados) pode ser assim conceituado:

*Considere uma seqüência de veículos uniformemente distribuídos sobre uma pista reta, de comprimento infinito e declividade nula, com uma única faixa de tráfego. O nível médio de emissão de energia de referência de uma determinada classe de veículo é o ruído médio medido num ponto situado a uma distância de 15 m (distância de referência) do eixo central da faixa mais próxima do observador, nas considerações feitas acima.*

Para cada classe de veículos, o nível de som de referência pode ser estimado usando uma das expressões abaixo. Note-se que ele só depende da velocidade.

$$\begin{aligned} \overline{(L_0)}_{E_{Auto}} &= 38,1 \log V_{Auto} - 2,4 \text{ dBA} && \text{(para automóveis com } V \geq 50 \text{ km/h)} && (8.4) \\ &= 62 \text{ dBA} && \text{(para automóveis com } V < 50 \text{ km/h)} \end{aligned}$$

$$\overline{(L_0)}_{E_{CM}} = 33,9 \log V_{CM} + 16,4 \text{ dBA} \quad \text{(para caminhões médios - 2 eixos, 6 pneus)} \quad (8.5)$$

$$\overline{(L_0)}_{E_{CP}} = 24,6 \log V_{CP} + 38,5 \text{ dBA} \quad \text{(para caminhões pesados -3 ou mais eixos)} \quad (8.6)$$

onde: V é a velocidade em km/h

A Equação 8.7 mostra como se obtém o nível de som equivalente horário da i-ésima classe de veículos. Note-se que ele é obtido adicionando-se ao nível de médio de emissão de energia de referência dos veículos da i-ésima classe, os termos correspondentes a cada ajuste.

$$L_{eq}(h)_i = \overline{(L_0)}_{E_i} + 10 \cdot \log\left(\frac{Q_i \pi D_0}{V_i T}\right) + 10 \cdot \log\left(\frac{D_0}{D}\right)^{1+\alpha} + 10 \cdot \log\left(\frac{\psi_\alpha(\phi_1, \phi_2)}{\pi}\right) + \Delta s \quad (8.7)$$

onde:

$L_{eq}(h)_i$  nível de som equivalente horário da i-ésima classe de veículos

$\overline{(L_0)}_{E_i}$  é o nível médio de emissão de energia de referência dos veículos da i-ésima classe

$Q_i$  número de veículos da i-ésima classe passando por um ponto específico durante 1 hora

$D$  distância perpendicular do eixo central da faixa de tráfego até o observador (em metro)

$D_0$  distância de referência (15 m)

$V_i$  velocidade média dos veículos de i-ésima classe (em km/h)

$T$  período de tempo no qual  $L_{eq}$  é calculado (1 hora)

$\alpha$  parâmetro cujo valor depende da condição local

$\psi$  representa uma função usada para ajuste de segmentos (por exemplo, ajuste à rodovia de comprimento finito)

$\phi_1, \phi_2$  influência do ângulo de influência acústica que leva em conta a localização do observador em relação ao segmento de rodovia

$\Delta s$  atenuação de ruído (em dBA) devido a algum tipo de proteção tais como barreiras, fila de casas, áreas densamente arborizadas, etc.

Os grupos de parâmetros da Equação 8.1 representam:

|   |  |
|---|--|
| $(L_0)_{E_i}$   | nível de emissão média da energia de referência              |
| $10 \cdot \log\left(\frac{Q_i \pi D_0}{V_i T}\right)$               | ajuste ao fluxo de tráfego                                   |
| $10 \cdot \log\left(\frac{D_0}{D}\right)^{1+\alpha}$                | ajuste para distância  |
| $10 \cdot \log\left(\frac{\psi_\alpha(\phi_1, \phi_2)}{\pi}\right)$ | ajuste à rodovia finita                                      |
| $\Delta s$  | ajuste para proteção (serão usados os ajustes de NCHRPR-117) |

Vamos, brevemente, comentar cada um dos ajustes:

a) Ajuste para o fluxo de tráfego -  $10 \cdot \log\left(\frac{Q_i \pi D_0}{V_i T}\right)$

Dois dos quatro parâmetros são constantes:  $D_0 = 15\text{m}$  e  $T = 1\text{h}$ . O ajuste para o fluxo de tráfego depende apenas do fluxo horário de veículos,  $Q_i$ , e da velocidade média dos veículos,  $V_i$ .

$$\text{Ajuste fluxo} = 16,7 + 10 \cdot \log(Q_i/V_i) \quad (8.8)$$

b) Ajuste para distância -  $10 \cdot \log\left(\frac{D_0}{D}\right)^{1+\alpha}$

Anteriormente discutimos a forma como o NPS varia com a distância, isto é, que dobrando a distância do observador à fonte linear observa-se uma atenuação de 3 dB no nível de ruído ( $\alpha = 0$ ). Pesquisa de campo tem mostrado, no entanto, que dependendo da condição do solo e da cobertura vegetal (exceto árvores), observa-se uma atenuação adicional de 1,5 dB a cada vez que a distância dobra ( $\alpha = 0,5$ ). A Tabela VIII.2 apresenta critérios para a escolha de  $\alpha$ .

$$\text{Ajuste distância} = 10 \cdot \log\left(\frac{D_0}{D}\right)^{1+\alpha} \quad (8.9)$$

Tabela VIII.2

| Situação  | Atenuação                       |
|---|---------------------------------|
| 1. Todas situações em que a fonte ou o receptor estiver localizado 3 m acima do solo ou se em média a linha de visada estiver 3 m acima do solo | (3 dBA)<br>( $\alpha = 0$ )     |
| 2. Todas situações envolvendo propagação do som sobre o topo de barreiras com altura acima de 3 m   | (3 dBA)<br>( $\alpha = 0$ )     |
| 3. Onde a altura da linha de visada for maior que 3 m e   |                                 |
| a) A rodovia pode ser avistada claramente e não existe nenhuma estrutura interveniente  | (3 dBA)<br>( $\alpha = 0$ )     |
| b) A rodovia pode ser avistada, mas ela fica entremeada de algumas construções, algumas árvores e arbustos, ou o solo é coberto com vegetação   | (4,5 dBA)<br>( $\alpha = 0,5$ ) |

Fonte: Cohn and Mevov (1982)

Obs: Se a rodovia tem várias faixas de tráfego, e se o fluxo e a composição de cada faixa são desconhecidos, pode-se aplicar o conceito de "faixa equivalente". Este é um conceito usado pelo NCHRP. Na prática, as rodovias têm várias faixas de tráfego. Nesses casos, a distância mais representativa, para efeito de cálculo do nível de intensidade sonora percebida pelo observador, não é a distância do observador ao eixo da faixa mais próxima, e sim a distância ( $D_p$ ) que é aproximadamente igual à média geométrica entre a distância do observador ao eixo da faixa mais próxima ( $D_N$ ) e a distância do observador ao eixo da faixa de tráfego mais afastada ( $D_F$ ).

$$\text{c) Ajuste à rodovia finita} \quad - \quad 10 \cdot \log\left(\frac{\psi_a(\phi_1, \phi_2)}{\pi}\right)$$

Este é um ajuste muito útil pois: a) permite tratar das rodovias truncadas (por exemplo, aquelas que desemboca em uma outra rodovia, formando uma junção do tipo T, e das rodovias que passa por um túnel); e b) permite que uma rodovia seja subdividida em vários trechos, dentro de cada qual predominem condições mais ou menos homogêneas.

A suposição original do método da FHWA é de que os veículos operam numa rodovia de comprimento infinito, isto é, que o ângulo de influência acústica ( $\Delta\phi$  na Figura 8.2) é de  $180^\circ$ . Para um segmento de estrada finito, é preciso que se faça um ajuste. Por exemplo, para um observador postado à beira de uma estrada infinita, o nível de ruído é NR; quando se elimina o ruído que vem de um dos lados, a energia sonora passa a ser a metade do que era; em termos do ângulo de influência acústica, ele passa a ser  $\Delta\phi = 90^\circ$ , ou seja, metade do ângulo correspondente à rodovia infinita ( $90^\circ/180^\circ = 0,5$ ); assim, o nível de ruído passa a ser 3 dB menor do que era. Similarmente, o Relatório assume que quando se diminui o ângulo de influência acústica de  $180^\circ$  para  $\Delta\phi$ , o nível de som diminui proporcionalmente de  $\log(\Delta\phi/180)$ , com  $\Delta\phi$  em graus, ou  $\log(\Delta\phi/\pi)$ , com  $\Delta\phi$  em radiano. Portanto, dado o ângulo de influência acústica, temos

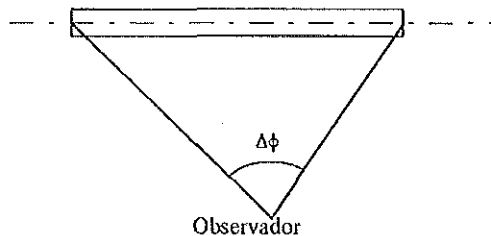


Fig. 8.2: Ângulo de influência acústica

$$\text{Ajuste ao comprimento finito: } 10 \log(\Delta\phi/\pi) \quad (8.10)$$

(para condições 1, 2 e 3a da Tabela VIII.2)

A maneira mais conveniente de definir a localização espacial de um segmento finito é adotar um sinal (+ ou -) para os ângulos  $\phi_1$  e  $\phi_2$ . O método FHWA define  $\phi_1$  e  $\phi_2$  como sendo os ângulos de visada formados entre a perpendicular e as extremidades esquerda e direita, respectivamente, conforme mostra a Figura 8.3. Outra convenção adotada é que os ângulos horários medidos a partir da perpendicular são positivos, e os anti-horários, negativos. O ângulo  $\Delta\phi$  da Equação 8.7 é a diferença  $\phi_2 - \phi_1$ .

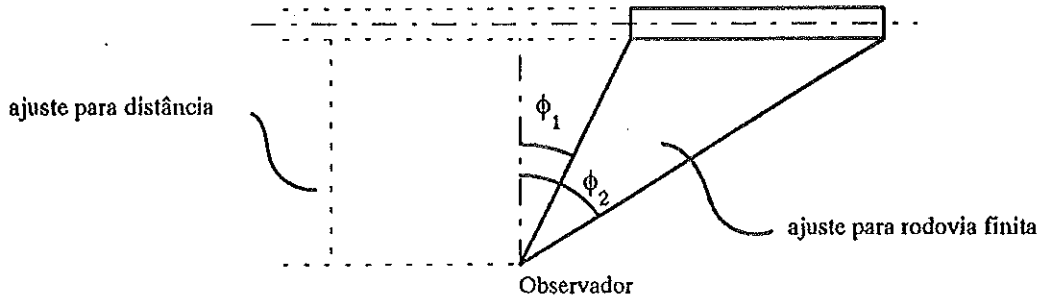


Figura 8.3: Localização espacial do segmento de rodovia

Quando a condição corresponde a 3b da Tabela VIII.2 ( $\alpha = 0,5$ ), o ajuste ao comprimento finito torna-se mais complexo. Para essa condição, a FHWA apresenta um gráfico que fornece o valor de ajuste em função dos ângulos  $\phi_1$  e  $\phi_2$ .

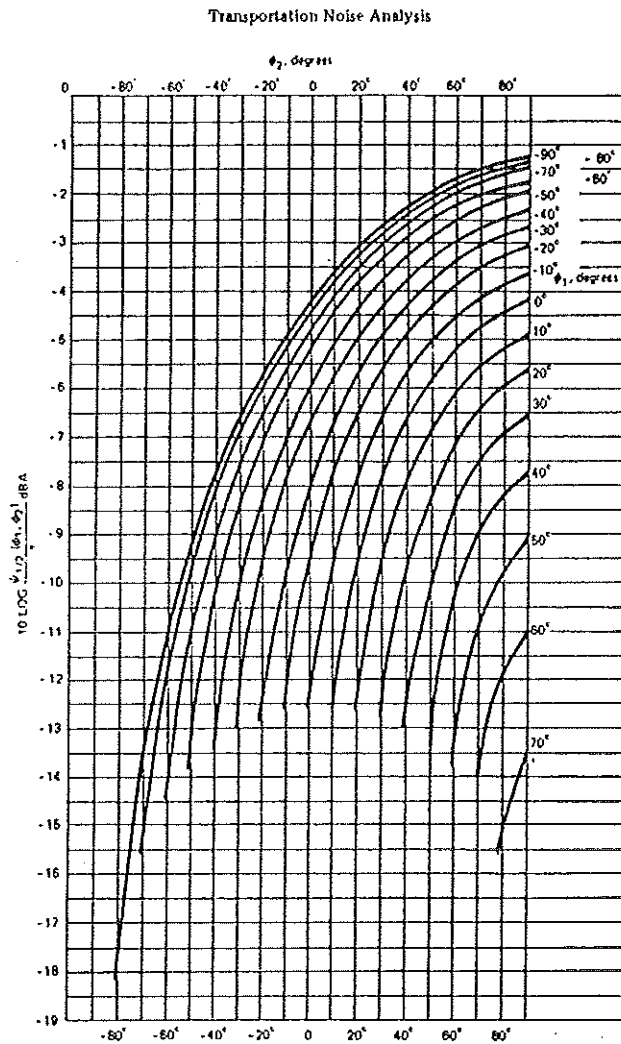


Figura 8.4: Valores de ajuste para rodovias finitas, para a condição  $\alpha = 0,5$

#### d) Efeito da barreira sobre a trajetória do som

O fenômeno acústico que governa atenuações por barreira é conhecido como refração de Fresnel, que analiticamente estabelece a perda de energia quando o som passa sobre ou perto de uma barreira. A perda é determinada em função do número de Fresnel ( $N$ ), que por sua vez é calculada em função da diferença ( $\delta$ ) entre o comprimento da trajetória do som contornando o obstáculo ( $A+B$ ) e a distância em linha reta ( $C$ ) entre a fonte e o observador, conforme mostra a Figura 8.5.

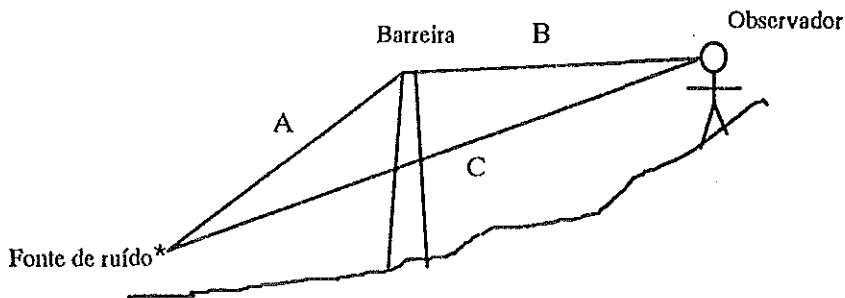


Figura 8.5: Efeito da barreira sobre a trajetória do som

$$\text{Ou seja, } \delta = A + B - C, \quad \text{e} \quad N = 2 \frac{\delta}{\lambda},$$

onde  $\lambda$  é o comprimento da onda de ruído gerada pelo tráfego, e varia de 2 a 3 pés (geralmente adota-se  $\lambda = 2,2$  pés = 0,66 m). Para se definir a altura da fonte, considera-se que para automóvel a altura seja zero; e para caminhões pesados a altura seja de 8 pés (2,5 m).

O método de FHWA para calcular a atenuação devida a barreira é bastante complexo. Por essa razão, neste ítem será adotado o método apresentado no relatório NCHRP-117, que é um método derivado da pesquisa de Maekawa, e válido para trecho de estrada compreendido entre ângulos de  $\phi_1 = -90^\circ$  e  $\phi_2 = +76^\circ$ , ou entre  $\phi_1 = -76^\circ$  e  $\phi_2 = +90^\circ$ . A curva pode ser utilizada tanto para uma fonte linear como para fonte puntual, e pode-se supor que todo tráfego esteja concentrado na "faixa equivalente".

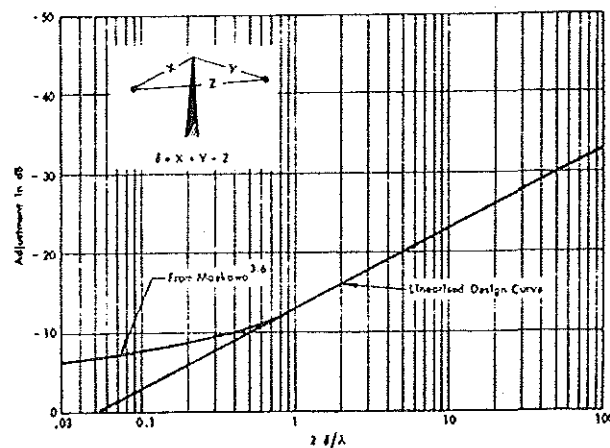


Figura 8.6: Atenuação devida a proteção acústica

**e) Efeito da rampa**

O efeito de veículos comerciais em aclive sobre o nível de pressão sonora é bastante significativo, o que não acontece com os veículos de passeio. A Tabela VIII.2 traz os ajustes recomendados para rampas.

Tabela VIII.2

| Rampa (%) | Ajuste (dB) |
|-----------|-------------|
| < 2       | 0           |
| 3 a 4     | +2          |
| 5 a 6     | +3          |
| > 7       | +5          |

**f) Efeito das características da superfície de rolamento**

Galloway e Clark investigaram a influência das características da superfície de rolamento e da velocidade média de tráfego sobre o nível de pressão sonora (NPS), e chegaram à seguinte conclusão no que se refere ao ajuste devido às características da superfície de rolamento.

- Um acréscimo de 5 dBA para superfície betuminosa e rugosa, com vazios acima de 1,5 cm;
- Sem ajuste para superfície betuminosa e moderadamente rugosa, ou pavimento rígido;
- Um decréscimo de 5 dBA para superfície relativamente lisas.

Baseado em medições feitas in loco, o Relatório recomenda, ainda, um acréscimo de -5 dBA para pavimentos muito lisos e +5 dBA para pavimentos muito rugosos.

**g) Proteção por estruturas e vegetações**

Arbustos e árvores têm pouco efeito sobre a propagação de ruído, a menos que a folhagem seja densa e a faixa de arborização seja larga. Cinturão de árvores com largura menor do que 30,0 m proporciona uma atenuação muito pequena, e, para o cinturão de maior largura, caso se pretenda que ele seja um protetor contra ruído, deve ser formado com árvores que permanecem com folhas o ano inteiro. O Relatório sugere uma atenuação de 5 dBA para cada 30,0 m de cinturão, desde que as árvores tenham altura de pelo menos 4,5 m e não haja possibilidade de visada direta entre a fonte e o observador.

Por outro lado, construções ou outras estruturas entre a rodovia e o ponto de recepção podem ter um efeito considerável sobre níveis de som. Trabalho desenvolvido nos EUA indica que a proteção é efetiva para primeiras duas ou três fileiras de casas e permanece aproximadamente constante além delas. O Relatório NCHRP-117 de 1971 ressaltava à época que enquanto nenhuma medição precisa estivesse disponível, poder-se-ia considerar uma atenuação de 3 a 5 dBA por fileira de casas. A atenuação máxima não deve ultrapassar 10 dBA, e que só deve ser aplicada aos pontos que não são possíveis de serem avistados da fonte.

**Determinação do efeito conjunto**

Uma vez conhecido o nível de som equivalente horário de cada classe de veículos, pode-se calcular o nível de som equivalente do total de veículos, pertencentes a todas as classes. O ruído equivalente total é determinado somando-se as energias oriundas de todas as classes de veículos. Para se fazer essa soma, é preciso, antes, transformar os níveis de som acima em unidades de energia, usando a Equação (8.2), ou seja,

$$NI = 10 \cdot \log(I/I_0) \quad \Rightarrow \quad I = I_0 \cdot 10^{NI/10}$$

Assim, a soma fica:

$$I_{\text{Total}} = I_A + I_{\text{CM}} + I_{\text{CP}} \quad \Rightarrow \quad I_{\text{Total}} = I_0 \cdot 10^{L_{eq}(h)_A/10} + I_0 \cdot 10^{L_{eq}(h)_{\text{CM}}/10} + I_0 \cdot 10^{L_{eq}(h)_{\text{CP}}/10}$$

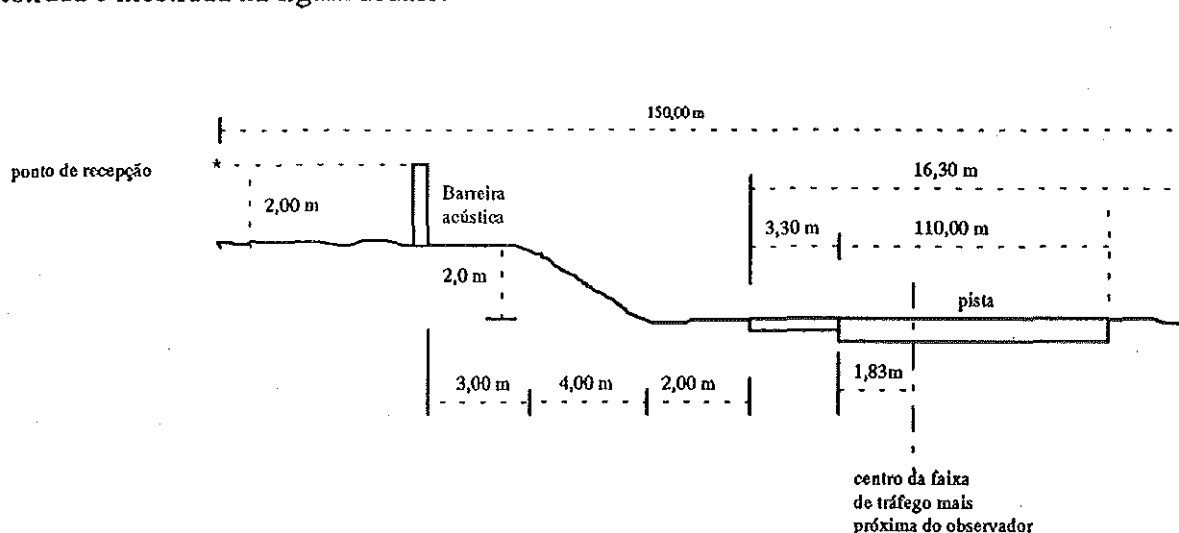
onde:  $L_{eq}(h)_i$  nível de som equivalente horário da  $i$ -ésima classe de veículos

Entrando com essa energia total na Equação (8.2), obtém-se o nível de intensidade sonora total.

$$NI_{\text{Total}} = 10 \cdot \log(10^{L_{eq}(h)_A/10} + 10^{L_{eq}(h)_{\text{CM}}/10} + 10^{L_{eq}(h)_{\text{CP}}/10})$$

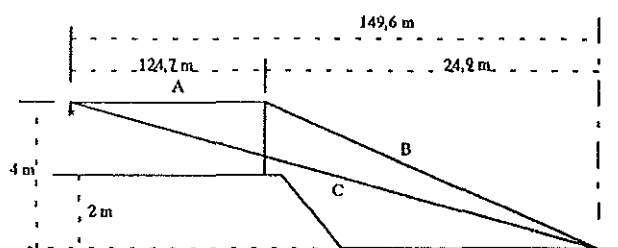
### Exemplo 1 (Fonte: Hothersall and Salter)

A linha central de uma pista dupla com 3 faixas de tráfego em cada sentido passa a 150 m (492,1 pés) de distância de um ponto onde o nível de pressão sonora é estimado. O tráfego horário durante o período considerado é de 5.600 veículos de passageiros, 300 caminhões médios e 600 caminhões pesados. A velocidade média de todos os veículos é de 80 km/h (49,7 milhas/h). O fluxo é ininterrupto e a superfície de rolamento é betuminosa e rugosa. A seção transversal da estrada é mostrada na figura abaixo.



### Solução:

A fonte de ruído, o observador e as distâncias estão apresentados no esquema abaixo



$$\overline{(L_0)}_{B_{Auto}} = 38,1 \log V_{Auto} - 2,4 \text{ dBA} = 70,1 \text{ dBA}$$

$$\overline{(L_0)}_{B_{CM}} = 33,9 \log V_{CM} + 16,4 \text{ dBA} = 80,9 \text{ dBA}$$

$$\overline{(L_0)}_{B_{CP}} = 24,6 \log V_{CP} + 38,5 \text{ dBA} = 85,3 \text{ dBA}$$

## 1) ajuste para o fluxo

$$1.1) \text{ Auto} = 16,7 + 10 \cdot \log(Q/V) = 16,7 + 10 \cdot \log(5600/80) = +35,2 \text{ dBA}$$

$$1.2) \text{ Caminhão médio} = 16,7 + 10 \cdot \log(300/80) = +22,4 \text{ dBA}$$

$$1.3) \text{ Caminhão pesado} = 16,7 + 10 \cdot \log(600/80) = +25,5 \text{ dBA}$$

$$2) \text{ ajuste para distância} = 10 \cdot \log(15/149,63) = -10 \text{ dBA}$$

3) ajuste para trecho finito: vamos considerar que o trecho seja infinito

## 4) ajuste para barreira

## 4.1) auto e caminhão médio

Distância horizontal da faixa equivalente até o observador:

$$D_B = \sqrt{D_N \cdot D_N} = \sqrt{138,83 \times 161,17} = 149,58 \text{ m}$$

$$\text{Distância em linha reta entre a fonte e observador: } C = \sqrt{149,58^2 + 4^2} = 149,63 \text{ m}$$

$$\text{Distância do observador até a barreira: } A = 124,70 \text{ m}$$

$$\text{Distância entre o topo da barreira e a fonte: } B = 25,22 \text{ m}$$

$$\text{Distância indireta sobre a barreira: } A + B = 149,92 \text{ m}$$

$$\text{Diferença entre distância em linha reta e a indireta } \delta = A + B - C = 0,29 \text{ m}$$

$$\text{Número de Fresnel: } N = 2 \delta / \lambda = 2 \times 0,29 / 0,67 = 0,80$$

Atenuação devida a barreira: 12 dBA

## 4.2) caminhões pesados

Distância horizontal da faixa equivalente até o observador:

$$D_B = \sqrt{D_N \cdot D_N} = \sqrt{138,83 \times 161,17} = 149,58 \text{ m}$$

$$\text{Distância em linha reta entre a fonte e observador: } C = \sqrt{149,58^2 + 1,5^2} = 149,59 \text{ m}$$

$$\text{Distância do observador até a barreira: } A = 124,70 \text{ m}$$

$$\text{Distância entre o topo da barreira e a fonte: } B = 24,95 \text{ m}$$

$$\text{Distância indireta sobre a barreira: } A + B = 149,65 \text{ m}$$

$$\text{Diferença entre distância em linha reta e a indireta } \delta = A + B - C = 0,06 \text{ m}$$

$$\text{Número de Fresnel: } N = 2 \delta / \lambda = 2 \times 0,06 / 0,67 = 0,179$$

Atenuação devida a barreira: -8 dBA

## 5) Ajuste para a superfície de rolamento = +5 dBA

$$\text{ó) total auto: } L_{eq}(h)_A = 70,1 + 35,2 - 10 - 12 + 5 = 90,7 \text{ dBA}$$

$$\text{7) total caminhão médio: } L_{eq}(h)_{CM} = 80,9 + 22,4 - 10 - 12 + 5 = 86,3 \text{ dBA}$$



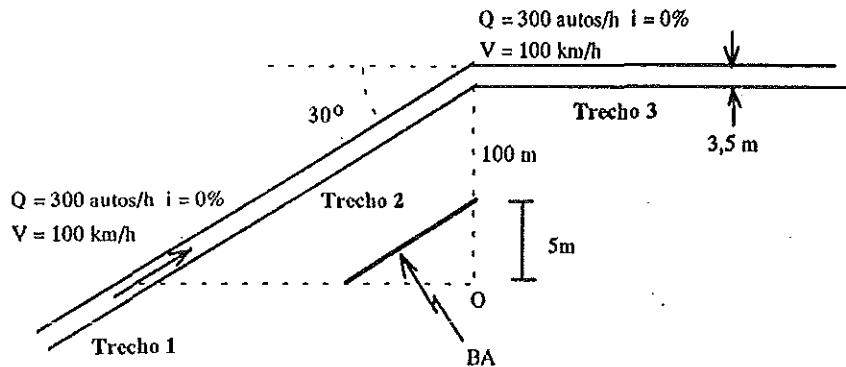
8) total caminhão pesado:  $L_{eq}(h)_{CP} = 85,3 + 25,5 - 10 - 8 + 5 = 97,8$  dBA

9) nível de intensidade sonora total

$$NI_{Total} = 10 \cdot \log(10^{90,7/10} + 10^{86,3/10} + 10^{97,8/10}) = 98,8 \text{ dBA}$$

### Exemplo 2.

Considere uma rodovia, de faixa única e com tráfego num sentido único, como mostra a figura abaixo.



Pede-se determinar o nível de som a que está sujeito o ponto O (que está 1,0 m acima do nível da rodovia), considerando que existe uma barreira acústica (BA) de 2 m de altura, conforme indicada na figura acima. Supor que o pavimento seja rugoso.

$$\overline{(L_0)}_{E_{Auto}} = 38,1 \log V_{Auto} - 2,4 \text{ dBA} = 38,1 \log (100) - 2,4 = 73,8 \text{ dBA}$$

1) ajuste para o fluxo:  $16,7 + 10 \cdot \log (Q/V) = 16,7 + 10 \cdot \log (300/100) = +21,5$  dBA

2) ajuste para distância

$$\text{Trecho 1: } 10 \log [15/((100+3,5/2)\cos 30^\circ)] = -7,7 \text{ dBA}$$

$$\text{Trecho 2: } 10 \log [15/((100+3,5/2)\cos 30^\circ)] = -7,7 \text{ dBA}$$

$$\text{Trecho 3: } 10 \log [15/(100+3,5/2)] = -8,3 \text{ dBA}$$

3) ajuste para trecho finito

$$\text{Trecho 1: } 10 \log (30/180) = -7,8 \text{ dBA}$$

$$\text{Trecho 2: } 10 \log (90/180) = -3,0 \text{ dBA}$$

$$\text{Trecho 3: } 10 \log (90/180) = -3,0 \text{ dBA}$$

4) ajuste para barreira

Apenas cobrindo o trecho 2

Distância horizontal da faixa equivalente até o observador:

$$D_E = 88,10 \text{ m}$$

$$\text{Distância em linha reta entre a fonte e observador: } C = \sqrt{88,1^2 + 1^2} = 88,11 \text{ m}$$

$$\text{Distância do observador até o topo da barreira: } A = \sqrt{(5 \cos 30^\circ)^2 + 1^2} = 4,44 \text{ m}$$

$$\text{Distância entre o topo da barreira e a fonte: } B = \sqrt{(101,75 - 5) \cdot \cos 30^\circ)^2 + 2^2} = 83,81 \text{ m}$$

Distância indireta sobre a barreira:  $A + B = 88,25$  m

Diferença entre distância em linha reta e a indireta  $\delta = A + B - C = 0,14$  m

Número de Fresnel:  $N = 2 \delta / \lambda = 2 \times 0,14 / 0,67 = 0,418$

Atenuação devida a barreira: -10 dBA

5) Ajuste para a superfície de rolamento = +5 dBA

6) total

6.1) Trecho 1:  $L_{eq}(h)_A = 73,8 + 21,5 - 7,7 - 7,8 + 0 + 5 = 84,8$  dBA

6.2) Trecho 2:  $L_{eq}(h)_A = 73,8 + 21,5 - 7,7 - 3,0 - 10,0 + 5 = 79,6$  dBA

6.2) Trecho 3:  $L_{eq}(h)_A = 73,8 + 21,5 - 8,3 - 3,0 + 0 + 5 = 89,0$  dBA

7) nível de intensidade sonora total (Trecho 1 + Trecho 2 + Trecho 3)

$$NI_{Total} = 10 \cdot \log(10^{84,8/10} + 10^{79,6/10} + 10^{89,0/10}) = 90,7 \text{ dBA}$$

#### Método NCHRP para previsão do nível de ruído em interseções rodoviárias com paradas

O método está descrito no relatório NCHRP-311 de 1989 e constitui-se numa extensão do método da FHWA acima apresentado, uma vez que utiliza os conceitos desenvolvidos por este órgão. O método é destinado especificamente à previsão do nível de ruído nas rodovias rurais ou urbanas com paradas, sejam elas provocadas pelo sinal de PARE, semáforos, posto de pedágio, etc. O método consiste em inicialmente determinar o trecho em que os veículos sofrem a influência da interseção (trecho sujeito a desaceleração e aceleração) e posteriormente substituir o fluxo de tráfego desse trecho por um fluxo de velocidade constante e equivalente em termos de nível de ruído. Este procedimento permite que a previsão do nível de ruído, mesmo neste caso, seja feita através do método FHWA.

A interseção com parada obrigatória difere fundamentalmente da interseção semaforizada no que se refere a emissão de ruído. Nas interseções com parada obrigatória, os veículos começam a acelerar essencialmente na linha de parada, enquanto que nos semáforos todos os veículos que esperam na fila começam a acelerar no instante em que abre o sinal. Assim, o ponto de emissão de ruído nas interseções de parada obrigatória coincide, aproximadamente, com a linha de parada. Nas interseções semaforizadas, pode-se considerar que o ponto de emissão esteja no ponto médio da fila.

Outros fatores importantes na previsão do nível de ruídos nas interseções com paradas são aceleração e desaceleração. Com o propósito de representar bem as influências desses fatores, foram definidas duas zonas de influência: a de desaceleração e a de aceleração. A zona de influência de desaceleração começa no final da fila de veículos parados e se estende até o ponto onde a velocidade é a de cruzeiro; e a zona de influência da aceleração começa na linha de parada, no caso de interseções com parada obrigatória, e no final da fila de veículos parados, no caso de interseções com semáforos, e continua até atingir a velocidade de cruzeiro. A zona de influência de desaceleração (ZOID) é dividida em duas partes. A primeira zona, ZOID(1), é definida pelo segmento da via onde a velocidade é reduzida da velocidade de cruzeiro até 32 km/h. Desse ponto até o ponto onde os veículos param, é definida como segunda zona de influência da desaceleração, ZOID (2). As Tabelas VIII.4 e VIII.5 apresentam a extensão da zona de influência combinada para três tipos de veículos e as velocidades equivalentes correspondentes, para aceleração e desaceleração, respectivamente.

Tabela VIII.4

Extensão da zona de influência da desaceleração combinada, e velocidade equivalente

| Variação da veloc.<br>(Km/h) |                    | distância<br>(m) |         | Velocidade ZOID(1)<br>Km/h |    |    | Velocidade ZOID(2)<br>Km/h |    |    |
|------------------------------|--------------------|------------------|---------|----------------------------|----|----|----------------------------|----|----|
| V <sub>inicial</sub>         | V <sub>final</sub> | ZOID(1)          | ZOID(2) | Autos                      | CM | CP | Autos                      | CM | CP |
| 50                           | 0                  | 45               | 30      | 47                         | 42 | 39 | 29                         | 21 | 16 |
| 65                           | 0                  | 75               | 30      | 55                         | 48 | 45 | 29                         | 21 | 16 |
| 80                           | 0                  | 60               | 60      | 61                         | 55 | 50 | 29                         | 21 | 16 |
| 100                          | 0                  | 90               | 60      | 66                         | 58 | 53 | 29                         | 21 | 16 |
|                              |                    |                  |         |                            |    |    |                            |    |    |
| 65                           | 50                 | 67               | --      | 60                         | 52 | 48 | --                         | -- | -- |
|                              |                    |                  |         |                            |    |    |                            |    |    |
| 80                           | 50                 | 115              | --      | 68                         | 60 | 58 | --                         | -- | -- |
| 80                           | 65                 | 80               | --      | 74                         | 66 | 68 | --                         | -- | -- |
|                              |                    |                  |         |                            |    |    |                            |    |    |
| 100                          | 50                 | 160              | --      | 74                         | 66 | 68 | --                         | -- | -- |
| 100                          | 65                 | 130              | --      | 82                         | 74 | 76 | --                         | -- | -- |

Adaptado de NCHRPP-311 (1989)

Tabela VIII.5

Extensão da zona de influência da aceleração combinada, e velocidade equivalente

| Variação da veloc.<br>(Km/h) |                    | distância<br>(m) |         | Velocidade ZOIA(1)<br>Km/h |     |     | Velocidade ZOIA(2)<br>Km/h |    |    |
|------------------------------|--------------------|------------------|---------|----------------------------|-----|-----|----------------------------|----|----|
| V <sub>inicial</sub>         | V <sub>final</sub> | ZOIA(1)          | ZOIA(2) | Autos                      | CM  | CP  | Autos                      | CM | CP |
| 0                            | 50                 | 150              | 90      | 61                         | 70  | 70  | 50                         | 70 | 70 |
| 0                            | 56                 | 180              | 200     | 63                         | 70  | 70  | 56                         | 70 | 70 |
| 0                            | 65                 | 300              | --      | 64                         | 70  | 70  | --                         | -- | -- |
| 0                            | 73                 | 300              | --      | 68                         | 70  | 70  | --                         | -- | -- |
| 0                            | 80                 | 300              | 240     | 68                         | 70  | 70  | 80                         | 76 | 76 |
| 0                            | 90                 | 300              | 240     | 68                         | 70  | 70  | 80                         | 65 | 80 |
| 0                            | 100                | 300              | 240     | 68                         | 70  | 70  | 80                         | 84 | 84 |
|                              |                    |                  |         |                            |     |     |                            |    |    |
| 50                           | 65                 | 120              | --      | 64                         | 70  | 70  | --                         | -- | -- |
| 50                           | 80                 | 300              | --      | 68                         | 70  | 70  | --                         | -- | -- |
| 50                           | 100                | 580              | --      | 82                         | 84  | 85  | --                         | -- | -- |
|                              |                    |                  |         |                            |     |     |                            |    |    |
| 65                           | 80                 | 180              | --      | 72                         | 69  | 69  | --                         | -- | -- |
| 65                           | 100                | 460              | --      | 80                         | 84  | 85  | --                         | -- | -- |
|                              |                    |                  |         |                            |     |     |                            |    |    |
| 80                           | 100                | qq               | --      | 100                        | 100 | 100 | --                         | -- | -- |

Adaptado de NCHRPP-311 (1989)

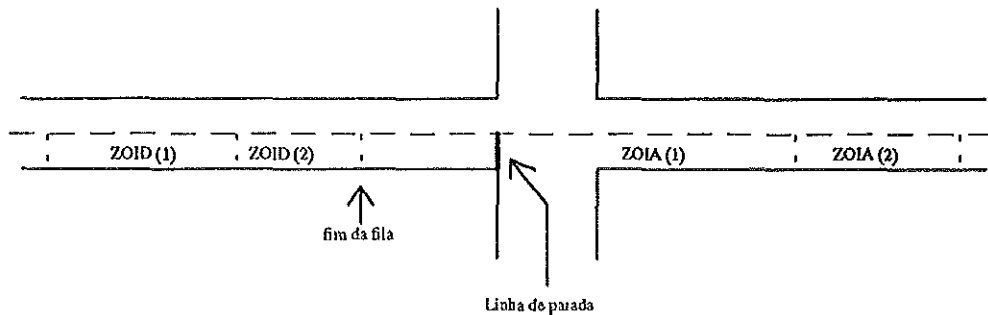
*Interseções com parada obrigatória*

Figura 8.7 Interseção com parada obrigatória

A zona de influência da interseção começa no ponto onde o primeiro veículo da fila fica parado, segue até o ponto onde está parado o último veículo da fila, e continua através de um trecho de transição onde os veículos são desacelerados. A equação adotada no manual para estimar o comprimento da fila, em termos de número de veículos, é  $E(n) = Q/(S - Q)$ , onde  $Q$  é a taxa de chegada (fluxo horário de projeto) e  $S$  é a taxa de atendimento (calculada na base de 1500 automóveis/faixa/hora).

Uma vez determinada o número médio de veículos na fila,  $E(n)$ , pode-se converter o número de caminhões médios e pesados em número equivalente de automóveis. Mas o próprio manual dispensa essa conversão quando o número de caminhões for pequeno em relação ao total, o que geralmente ocorre nas vias urbanas. Com o número de veículos e a distância padrão entre eles determina-se o comprimento da fila, em termos de distância.

Tabela VIII.6

Espaço alocado para cada veículo

| Tipo de veículo | Espaço (m) |
|-----------------|------------|
| Automóvel       | 7,5        |
| Caminhão médio  | 11,0       |
| Caminhão pesado | 18,0       |

Fonte: NCHRP-311 (1989)

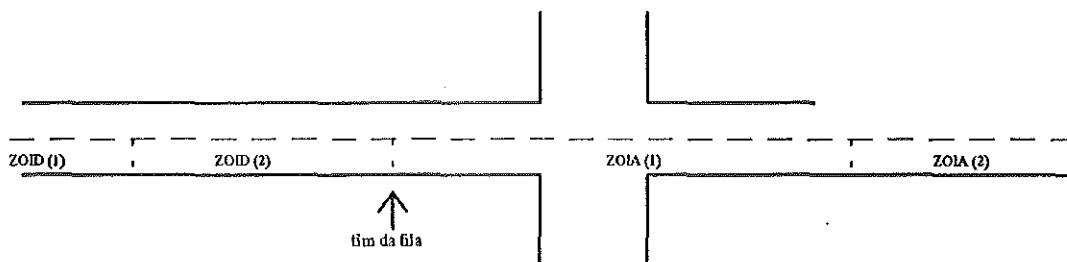
*Interseção com semáforo*

Figura 8.8. Interseção com semáforo

A análise de interseção com semáforo é similar em muitos aspectos à de interseções com paradas obrigatórias, mas envolve também alguns conceitos como tempo de ciclo (C), a relação entre o tempo de verde e o tempo de ciclo (G/C), fluxo de saturação (S) por hora de verde efetivo para cada aproximação. A proporção (P) de veículos que chegam na fase vermelha é calculado utilizando a equação originalmente desenvolvida por Webster.

$$P = [1 - (G/C)]/[1 - (Q/S)]$$

onde: G é o tempo efetivo da fase verde (tempo da fase verde + tempo da fase amarela - tempo perdido na saída - parte do tempo de amarelo perdido);

C é o ciclo do semáforo;

Q é o fluxo de projeto; e

S na falta de dados mais precisos, pode-se adotar 2000 x número de faixas efetivamente usadas para escoar o tráfego.

Uma vez conhecido o P, pode-se calcular o número de veículos que param por ciclo, que é a soma do número de veículos que chegam durante a fase vermelha (primeira parcela da Equação 8.11), e aqueles que não conseguiram passar durante a fase verde (segunda parcela da Equação 8.11).

$$N_i = (P_i Q_i C / 3600) + [Q_i / (CAP_i - Q_i)] \quad (8.11)$$

onde:

$N_i$  número de veículos na aproximação i que param por ciclo;

$P_i$  proporção de veículos na aproximação i que devem parar na interseção;

$Q_i$  fluxo de tráfego por hora na aproximação i (em veíc/h);

C tempo de ciclo do semáforo (em segundo);

$CAP_i$  capacidade de escoamento de veículo por tempo de verde efetivo, na aproximação i.

#### *Exemplo: uma via com paradas*

A velocidade média numa via hipotética de numa via de direção única com uma faixa de tráfego é de 60 milhas/h (97 km/h). O tráfego é composto por 87 % de automóveis, 4 % de caminhões médios e 9 % de caminhões pesados. O fluxo horário de projeto é de 1150 veíc/h. Pede-se determinar os trechos que sofrem influência de aceleração e de desaceleração, e as respectivas velocidades equivalentes.

#### *Solução:*

Comprimento da fila (número de veículos):

$$E(n) = 1150 / (1500 - 1150) = 3,3$$

Comprimento da fila (distância):

$$F = 3,3 (0,87 \times 7,5 + 0,04 \times 11,0 + 0,09 \times 18,0) \approx 28 \text{ m}$$

Zona de influência da desaceleração e velocidade equivalente:

ZOID(1) = 90 m (Tabela VIII.4)    ZOID(2) = P.P (Tabela VIII.4) + F = 60 + 28 m = 88 m

$V_{\text{auto}} = 66 \text{ km/h}$

$V_{\text{auto}} = 29 \text{ km/h}$

$V_{\text{CM}} = 58 \text{ km/h}$

$V_{\text{CM}} = 21 \text{ km/h}$

$V_{\text{CP}} = 53 \text{ km/h}$

$V_{\text{CP}} = 16 \text{ km/h}$

Zona de influência da aceleração e velocidade equivalente:

ZOIA(1) = 300 m (Tabela VIII.5)

ZOIA(2) = 240 m (Tabela VIII.5)

$V_{\text{auto}} = 68 \text{ km/h}$

$V_{\text{auto}} = 80 \text{ km/h}$

$V_{\text{CM}} = 70 \text{ km/h}$

$V_{\text{CM}} = 84 \text{ km/h}$

$V_{\text{CP}} = 70 \text{ km/h}$

$V_{\text{CP}} = 84 \text{ km/h}$

### Exemplo 3: Interseção com semáforo

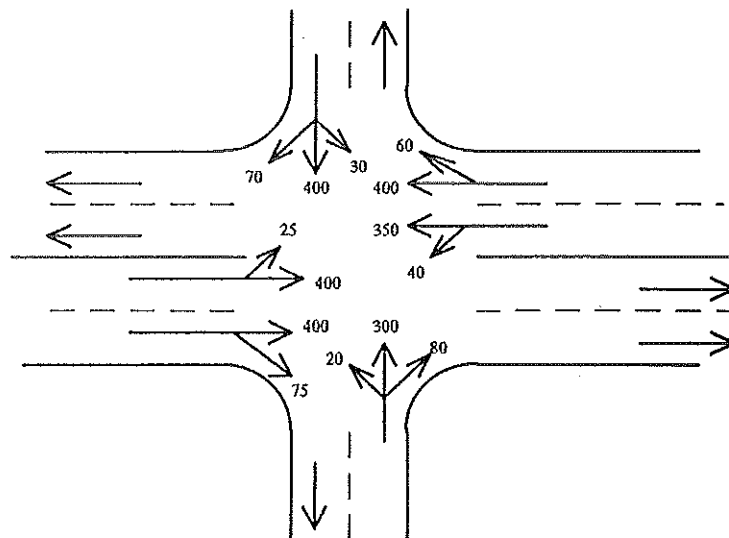
Dado um cruzamento em nível de duas rodovias urbanas, uma (norte-sul) de pista simples com duas faixas de tráfego e a outra (leste-oeste) de pista dupla com duas faixas de tráfego por sentido, pede-se: determinar o comprimento das zonas de influência da aceleração e da desaceleração e as respectivas velocidades equivalentes, só para veículos que vão de sul para norte. Outros dados são:

Limite de velocidade - 80 km/h;

Composição de veículos: 80 % automóveis; 10 % caminhões médios; 10 % caminhões pesados.

Tempo de ciclo do semáforo (com duas fases): 90 s

As conversões a esquerda e a direita estão mostradas na figura abaixo.



**Solução:**

Simplificação adotada:

Conversões, perda de tempo e a composição da frota não afeta significativamente a relação G/C;  
Proporção dos veículos que param por ciclo:

$$G/C \text{ (para a fase N-S)} \cong 500/(500+900) = 0,357 \text{ (500 é o max da N-S e 900 é max da L-O)}$$

$$P_i = [1 - (G/C)]/[1 - (Q/S)] = [1 - 0,357]/[1 - 500/2000] = 0,857$$

Número de veículos da aproximação sul para norte que ficam parados na interseção por ciclo:

$$N_i = P_i Q_i C / 3600 + Q_i / (CAP_i - Q_i)$$

$$N_i = 0,857 \times 400 \times 90 / 3600 + 400 / (2000 - 400) = 9 \text{ veículos/ciclo}$$

Comprimento da fila (distância):

$$F = 9 (0,8 \times 7,5 + 0,1 \times 11 + 0,1 \times 18) = 80 \text{ m}$$

Ponto médio de parada:

$$P.P = F/2 = 40 \text{ m}$$

Fluxos de chegada e de saída da interseção, na direção de sul para norte:

$$Q_{\text{chegada}} = 300 + 20 + 80 = 400 \text{ veículos/h}$$

$$Q_{\text{saída}} = 400 - 20 - 80 + 25 + 60 = 385 \text{ veículos/h}$$

Zona de influência da desaceleração e velocidade equivalente:

$$ZOID(1) = 60 \text{ m (Tabela VIII.4)}$$

$$ZOID(2) = 60 \text{ m (Tabela VIII.4)}$$

$$V_{\text{auto}} = 66 \text{ km/h}$$

$$V_{\text{auto}} = 29 \text{ km/h}$$

$$V_{\text{cm}} = 55 \text{ km/h}$$

$$V_{\text{cm}} = 21 \text{ km/h}$$

$$V_{\text{cp}} = 50 \text{ km/h}$$

$$V_{\text{cp}} = 16 \text{ km/h}$$

Zona de influência da aceleração e velocidade equivalente:

$$ZOIA(1) = 300 \text{ m (Tabela VIII.5)}$$

$$ZOIA(2) = 240 \text{ m (Tabela VIII.5)}$$

$$V_{\text{auto}} = 76 \text{ km/h}$$

$$V_{\text{auto}} = 80 \text{ km/h}$$

$$V_{\text{cm}} = 70 \text{ km/h}$$

$$V_{\text{cm}} = 70 \text{ km/h}$$

$$V_{\text{cp}} = 70 \text{ km/h}$$

$$V_{\text{cp}} = 70 \text{ km/h}$$

### 8.2.1.2. Custo de barreiras de proteção contra ruídos

Para que o leitor possa ter uma idéia do custo de implantação de barreiras contra poluição sonora provocada pelo tráfego, apresentamos abaixo a descrição de barreiras implantada no Canadá. O custo refere-se ao ano de 1977. Assim, ele deve ser corrigido pela inflação canadense ocorrida nos últimos 16 anos, da ordem de 40 %.

Tabela VIII.7

| Descrição da barreira  | Espessura (cm) | Altura (m) | Comprim (m) | Tipo de apoio                                     | Custo por metro de barreira(US\$ de 77) |
|--|----------------|------------|-------------|---|---|
| Parede de CP. Concreto reforçado: 276kg/cm <sup>2</sup> a 28 dias  | 15             | 2,6 - 3,4  | 616         | Colunas (perfil H) de concreto espaçadas de 7,6 m | 157                                     |
| Berma de terra gramada   | 150 (no topo)  | 2,7 - 3,0  | 308         |   | 82                                      |
| Parede de CP. Concreto reforçado: 410kg/cm <sup>2</sup> a 28 dias  | 15             | 2,6        | 244         | Colunas de aço espaçadas de 1,6 m                 | 144                                     |
| Parede de CP colocada sobre berma de altura de 1,5 - 2,4 m<br>Concreto reforçado: 410 Kg/cm <sup>2</sup><br>Densidade: 560 kg/m <sup>3</sup> | 10             | 1,1 - 2,3  | 502         | Colunas de aço espaçadas de 3,0 m                 | 118                                     |
| Parede de CP. Concreto reforçado: 410kg/cm <sup>2</sup> a 28 dias<br>Densidade 560 kg/m <sup>3</sup>   | 10             | 2,7        | 210         | Colunas de aço espaçadas de 3,0 m                 | 135                                     |
| Parede de alumínio com placas de 3,2 mm de espessura   | 9              | 2,4        | 219         | Colunas de alumínio espaçadas de 5,5 m            | 131                                     |
| Parede de madeira painéis de pinho tratado   | 1,9            | 2,7        | 122         | —   | 39                                      |
| Parede de gabião.  | 91             | 2,4        | 247         | —   | 262 - 295                               |
| Parede de concreto poroso. Concreto de baixa densidade reforçado. Dens. 640 kg/m <sup>3</sup>  | 10             | 3,7        | 427         | Coluna de aço espaçadas de 3,0 m                  | 115                                     |

Fonte: Coppe/Contran

## 8.2.2) Poluição do ar

Os gases e partículas emitidos pelo sistema propulsivo dos veículos na atmosfera causam graves problemas de degradação ambiental. Embora o setor de transportes não seja o maior responsável pela poluição do ar, a julgar pelos dados dos EUA ele é responsável por 16 a 17% do total de poluição. No entanto, segundo Morlok (1978), em algumas cidades americanas como Los Angeles e San Diego o transporte é responsável por 70% da poluição do ar.

O grande problema da poluição do ar é que os gases e as partículas lançados na atmosfera além de lá permanecem durante muito tempo e podem ser transportados pelas correntes aéreas para outros lugares, tem o efeito cumulativo, ao contrário da poluição sonora que desaparece com a remoção da fonte de emissão.

### 8.2.2.1 poluentes

Os poluentes especificamente relacionados ao transporte são: monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos (CH), óxidos de enxofre (SO<sub>x</sub>), oxidantes fotoquímicos (O<sub>3</sub>) partículas (fumaças), óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>) e chumbo. A seguir vamos discutir brevemente cada um desses poluentes.

#### ♦ Monóxido de Carbono



Monóxido de carbono é um gás incolor e inodoro, formado através de combustão incompleta (oxidação) de combustíveis fósseis que contêm carbono (a combustão completa resulta na produção de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) - o gás carbônico). Embora as fontes naturais e industriais contribuam à concentração de CO no ambiente, os maiores contribuintes são as fontes móveis (principalmente as movidas por motores a gasolina). Os mecanismos de remoção do CO ainda não estão muito bem conhecidos, mas provavelmente incluem migração para alta atmosfera, absorção e oxidação em diferentes superfícies, metabolismo por plantas e animais, entre outros. O tempo médio de permanência do CO atmosférico varia de um mês a 5 anos.

O monóxido de carbono é o poluente mais ubíquo. Literalmente está presente em toda parte. Ele é medido em termos de miligrama por metro cúbico ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) enquanto outros poluentes são medidos em micrograma por metro cúbico ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). CO não é especificamente tóxico às plantas ou danoso aos materiais. Todavia, ele se combina prontamente com a hemoglobina, a maior responsável pelo transporte de oxigênio para as células. A afinidade da hemoglobina por CO é mais de 200 vezes a sua afinidade por oxigênio, e carboxihemoglobina é um composto mais estável do que oxi-hemoglobina. Assim, quando uma pessoa fica exposta a CO, o oxigênio vai perdendo lugar no sangue para monóxido de carbono. Conseqüentemente, diminui a disponibilidade de oxigênio para as células. Uma exposição muito prolongada do ser humano a CO resulta em danos à visão e à faculdade de julgamento, modificações cardiovasculares, e, extremas concentrações de CO provoca morte. Todavia, concentrações letais somente ocorrem sob condições especiais tal como dentro de uma garagem fechada com veículo em funcionamento.

- *Hidrocarbonetos, óxidos de nitrogênio, e oxidantes fotoquímicos*

Estes três poluentes são discutidos em conjunto porque suas químicas estão inter-relacionadas. Dois dos poluentes, hidrocarbonetos (HC) e óxidos de nitrogênio ( $\text{NO}_x$ ), são considerados poluentes primários pois eles são emitidos diretamente por uma fonte móvel, como no caso de automóvel. Oxidantes fotoquímicos, constituídos principalmente de ozônio ( $\text{O}_3$ ) e peroxi-acetilnitrato (PAN), são formados na atmosfera através de reações envolvendo HC,  $\text{NO}_x$ , luz solar, e outros (temperatura, humidade, etc.) cuja interações ainda não são bem conhecidas.

Os HC emitidos por fontes móveis resulta principalmente do combustível não queimado que passa pelo motor e combustível que evapora antes de passar pelo motor. À parte os problemas de odor, HC em si são considerados inofensivos. Alguns HC são aparentemente mais críticos do que outros com relação à formação de oxidantes fotoquímicos. Metano ( $\text{CH}_4$ ), por exemplo, é relativamente inerte e geralmente não é considerado um problema sério com relação a produção de oxidantes fotoquímicos. Como as ligações de carbono na molécula de metano são ligações simples, a molécula é denominada saturada, isto é, nenhum átomo adicional de hidrogênio pode ser acomodado e a molécula tende a ser estável. Aldeídos (álcool desprovido de hidrogênio), por outro lado, são considerados altamente reativos, importantes precursores de oxidantes fotoquímicos. Eles são HC insaturados contendo um átomo de oxigênio de dupla ligação ligado a um átomo de carbono. Essa dupla ligação é mais facilmente quebrado do que a ligação simples numa molécula saturada; assim, uma molécula de aldeído tende a ser mais reativo do que uma molécula de metano.

Para efeito de análise do impacto de transporte sobre o meio ambiente, os dois óxidos mais importantes são: óxido nítrico (NO) e dióxido de nitrogênio ( $\text{NO}_2$ ). A maior parte das emissões de óxidos de nitrogênio por fontes móveis é causada pela oxidação de nitrogênio atmosférico ( $\text{N}_2$ ), e resulta em NO. Essa reação ocorre em altas temperaturas. Óxido nítrico por sua vez pode combinar com ozônio ( $\text{O}_3$ ) e tornar-se  $\text{NO}_2$  na atmosfera. Em concentração ambiental,

óxido de nitrogênio, especificamente o  $\text{NO}_2$ , pode corroer materiais (através da formação de ácidos), matar folhagens de plantas, e causar danos a tecido pulmonar. Dióxido de nitrogênio é também fortemente colorido e absorve luz em todo seu espectro visível, especialmente as ondas mais curtas e energéticas. Essa absorção da luz pode reduzir a visibilidade. Absorvendo luz, e portanto dispondo de energia,  $\text{NO}_2$  desmembra-se em  $\text{NO}$  e átomo de oxigênio ( $\text{O}$ ). Este último combina-se com a molécula de oxigênio ( $\text{O}_2$ ) e dá origem a uma molécula de ozônio ( $\text{O}_3$ ). E, assim, começa um novo ciclo (ciclo oxidante fotoquímico).

Se óxido de nitrogênio, oxigênio e luz solar fossem os únicos fatores envolvidos no processo de oxidação, ozônio seria consumido rapidamente através da reação com  $\text{NO}$  e jamais seria gerado uma alta concentração de ozônio. Acredita-se, dessa forma, que  $\text{HC}$  estão de certa maneira envolvidos no processo de formação de oxidante fotoquímico, servindo para impedir a redução de ozônio. O fato é que essas idéias estão sendo objeto de muitos debates, pesquisas e incertezas. Mas também existem alguns pontos de concordância.

- *Chumbo*

Chumbo é um veneno metabólico que quando ingerido por longo período de tempo pode causar uma variedade de efeitos tóxicos incluindo anemia, doenças cerebrais, e inúmeras disfunções metabólicas. A emissão de chumbo relacionada à atividade de transporte tem origem no uso da gasolina com teor de chumbo. A presença do chumbo na gasolina é devida à adição do chumbo tetraetila à gasolina com a finalidade de modificar as suas características explosivas, tornando possível a explosão somente em presença da centelha e não por simples compressão. O chumbo contido na gasolina não é destruído no processo de combustão. Uma parte dele é emitido diretamente para a atmosfera na forma de partículas finas, parte se aglomera para formar partículas maiores, parte fica aderido no interior do motor e do sistema de exaustão, e parte fica em suspensão no óleo lubrificante do motor. Em geral, a tendência das partículas é aderirem-se no interior do sistema de exaustão quando o motor está funcionando em baixa rotação, e serem expulsas quando se acelera fortemente o motor. Por essa razão, a emissão de chumbo é geralmente alta na proximidade de fortes aclives. No Brasil, o álcool anidro que é misturado à gasolina e álcool hidratado que abastece os veículos movidos a álcool tem contribuído significativamente para a redução do nível de chumbo emitido no ambiente.

- *Dióxido de enxofre e material particulado*

Dióxido de Enxofre ( $\text{SO}_2$ ) e materiais particulados geralmente não são considerados importantes poluentes relacionados ao transporte. Porém, eles são emitidos por fontes ligados a transporte, e portanto vamos discuti-los brevemente.

Dióxido de enxofre é um gás incolor que é solúvel na água, tem um odor desagradável e provoca irritação no aparelho respiratório, e é tóxico a plantas e animais. Ele pode reagir na atmosfera para formar o ácido sulfúrico e outros sulfatos envolvidos no fenômeno da chuva ácida. Emissões de dióxido de enxofre são produzidas quando combustíveis fósseis contendo enxofre são queimados e então o enxofre é oxidado. Os combustíveis de petróleo altamente refinados usados por veículos e aeronaves contém muito pouco enxofre.

Material particulado é um minúsculo fragmento de matéria dispersa, líquida ou sólida, com diâmetro variando de 0,002 a 500 microns. Geralmente, o material particulado é considerado problema se estão relacionados a fonte estacionária como no caso de usina termoelétrica. Entretanto, particulados podem ser gerados por fontes móveis mediante diferentes mecanismos. Particulados em si pode ser tóxico ao ser humano dependendo de sua composição química e

pode causar danos às plantas quando interferem na sua função estômata (por exemplo, obstruindo os poros foliar por onde as plantas trocam gases com o meio ambiente). Todavia, é a sua interação potencialmente sinérgica com outros poluentes tal como  $\text{SO}_2$  que é preocupante do ponto de vista da saúde pública.

### 8.2.2.2 Padrões de qualidade do ar ambiente

A Tabela VIII.8 apresenta uma lista dos padrões de qualidade do ar ambiente promulgados pela "US Environmental Protection Agency". O termo padrão primário usado na tabela refere-se ao padrão necessário para manter a saúde pública. O termo padrão secundário designa o padrão necessário para proteger o bem estar público. O termo tempo de exposição foi usado para descrever a duração da exposição.

No Brasil, os padrões foram estabelecidos pela SEMA (Secretaria Especial do Meio Ambiente) com o propósito de proteger a população, a flora e a fauna em toda extensão do território nacional. Os valores são idênticos aos padrões primários fixados pela EPA americana (Tabela VIII.8).

**Tabela VIII.8**

Padrões de qualidade do ar ambiente (US EPA)

| Poluente                                   | Tempo médio de Exposição   | Padrões primários  | Padrões secundários  |
|--|--|--|--|
| Material particulado                       | Anual (média geom.)<br>24 horas <sup>b</sup>                                 | 75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$<br>260 $\mu\text{g}/\text{m}^3$                                  | 60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$<br>150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$                              |
| Óxidos de enxofre                          | Anual (média geom.)<br><br>24 horas <sup>b</sup><br><br>3 horas <sup>b</sup> | 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$<br>(0,03 ppm)<br>365 $\mu\text{g}/\text{m}^3$<br>(0,14 ppm)<br>- | -<br><br>-<br><br>1300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$<br>(0,5 ppm)                             |
| Monóxido de carbono                        | 8 horas <sup>b</sup><br><br>1 horas <sup>b</sup>                             | 10 $\text{mg}/\text{m}^3$<br>(9 ppm)<br>40 $\text{mg}/\text{m}^3$<br>(35 ppm)                | 10 $\text{mg}/\text{m}^3$<br>(9 ppm)<br>40 $\text{mg}/\text{m}^3$<br>(35 ppm)            |
| Dióxido de nitrogênio                      | Anual (média geom.)  | 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$<br>(35 ppm)   | 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$<br>(0,05 ppm)   |
| Ozônio                                     | 1 horas <sup>b</sup>   | 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$<br>(0,05 ppm)<br>235 $\mu\text{g}/\text{m}^3$<br>(0,12 ppm)     | 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$<br>(0,05 ppm)<br>235 $\mu\text{g}/\text{m}^3$<br>(0,12 ppm) |
| Hidrocarbonetos (não-metanos) <sup>a</sup> | 3 horas <sup>b</sup><br>(6 a 9:00h da manhã)                                 | 160 $\mu\text{g}/\text{m}^3$<br>(0,24 ppm)   | 160 $\mu\text{g}/\text{m}^3$<br>(0,24 ppm)   |

Fonte: Cohn and Movoy, 1982

<sup>a</sup> Um padrão que não está relacionado com a saúde, usado como guia para o controle de ozônio.

<sup>b</sup> Valor a ser excedido no máximo uma vez por ano  
ppm - Partícula por milhões de partes de mistura de ar

### 8.2.2.3. Emissão de poluentes por veículos rodoviários em marcha

É possível estimar as emissões de poluentes de veículos ou qualquer outras fontes sem dificuldades. O difícil é estimar a influência de um determinado tipo de viagens na qualidade do ar. As Tabelas VIII.9 e VIII.10 trazem uma estimativa da quantidade de emissão dos três importantes poluentes -monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos (CH) e óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>)- emitidos por veículos motorizados em vários tipos de rodovias americanas para várias velocidades.

**Tabela VIII.9**

Poluentes emitidos em vias de tráfego rápido

| Velocidade<br>(Km/h) | 1972                            |     |                 | 1990 (estimativa)               |     |                 |
|----------------------|---------------------------------|-----|-----------------|---------------------------------|-----|-----------------|
|                      | Tipo de poluente<br>(g/veíc.km) |     |                 | Tipo de poluente<br>(g/veíc.km) |     |                 |
|                      | CO                              | CH  | NO <sub>x</sub> | CO                              | CH  | NO <sub>x</sub> |
| 100.0                | 19.2                            | 3.8 | 4.6             | 4.5                             | 0.6 | 1.2             |
| 90.0                 | 19.7                            | 3.9 | 4.3             | 4.5                             | 0.6 | 1.2             |
| 80.0                 | 21.0                            | 4.1 | 3.9             | 4.8                             | 0.6 | 1.1             |
| 70.0                 | 22.4                            | 4.3 | 3.8             | 5.1                             | 0.7 | 1.0             |
| 60.0                 | 24.6                            | 4.5 | 3.6             | 5.6                             | 0.7 | 0.9             |
| 50.0                 | 29.3                            | 5.1 | 3.4             | 6.5                             | 0.8 | 0.8             |
| 40.0                 | 35.0                            | 5.3 | 3.2             | 7.9                             | 1.0 | 0.8             |

Tabela adaptada de Morlok (1978)

Obs: a composição da frota é de 83,04% de automóveis, 6,81% de veículos de 2 t, 3,26% de veículos de 6t, 3,29% de veículos de 20 t, e 3,60% de veículos de 25 t.

**Tabela VIII.10**

Poluentes emitidos em vias arteriais

| Velocidade<br>(km/h) | 1972                            |     |                 | 1990 (estimativa)               |     |                 |
|----------------------|---------------------------------|-----|-----------------|---------------------------------|-----|-----------------|
|                      | Tipo de poluente<br>(g/veíc.km) |     |                 | Tipo de poluente<br>(g/veíc.km) |     |                 |
|                      | CO                              | CH  | NO <sub>x</sub> | CO                              | CH  | NO <sub>x</sub> |
| 50.0                 | 29.2                            | 5.1 | 3.4             | 6.8                             | 0.8 | 0.8             |
| 40.0                 | 34.6                            | 5.4 | 3.0             | 7.8                             | 1.0 | 0.8             |
| 30.0                 | 47.5                            | 6.3 | 2.8             | 11.1                            | 1.1 | 0.7             |

Tabela adaptada de Morlok (1978)

Obs: a composição da frota é de 83,04% de automóveis, 6,81% de veículos de 2 t, 3,26% de veículos de 6t, 3,29% de veículos de 20 t, e 3,60% de veículos de 25 t.

Podemos ainda notar que a expectativa nos EUA para o ano de 1990 é um nível de emissão bem menor do que o observado em 1972. Essa expectativa decorre do esforço hoje canalizado pelos americanos no sentido de produzir veículos menos poluidores. No Brasil, talvez a partir de 1992, algumas montadoras comecem a instalar filtro no escapamento dos modelos mais caros. O baixo poder aquisitivo da população inviabiliza por ora a colocação de filtro nos modelos mais populares, uma vez que isso necessariamente encareceria o preço final dos automóveis.

Ainda na tabela, atentemos ao fato de que as emissões de monóxido de carbono e de hidrocarbonos decrescem com a velocidade, enquanto a de óxido de nitrogênio cresce. Assim, enquanto as medidas para a redução das emissões na fonte não forem efetivadas, podemos

controlar a velocidade nas vias visando especificamente a redução da emissão dos gases mais indesejados para a condição atmosférica local.

No Brasil foi criado, em 1987, o PROCONVE -Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores- ligado a CETESB. A principal meta do programa é a fixação dos limites de emissão, em gramas por quilômetro rodado para automóveis e em gramas por quilowatt hora desenvolvido por caminhões e ônibus. Tomando-se por base o automóvel, cuja tecnologia é mais avançada do que a dos veículos pesados, o programa foi dividido em três fases (Meio Ambiente e Transporte Urbano, 1990, pag. 81):

*Fase 1 (1988 a 1991)* - Exige-se o aperfeiçoamento gradativo dos veículos, no que diz respeito à emissão de gases, principalmente dos veículos que se apresentam piores nesse aspecto. Os limites fixados para esta fase são: 24.0 g/Km de CO; 2.1 g/Km de HC; 2.0 g/Km de NO<sub>x</sub>.

*Fase 2 (1992 a 1996)* - Os veículos deverão estar enquadrados no limite estabelecido pelo programa. Os limites referem-se aos veículos construídos no Brasil com tecnologias brasileiras. Nesta fase ainda se dispensa o uso de catalisadores, injeção eletrônica ou tecnologia de ponta. Os limites fixados para esta fase são: 12.0 g/Km de CO; 1.2 g/Km de HC; 1.4 g/Km de NO<sub>x</sub>.

*Fase 3 (a partir de 1997)* - O fabricante é solicitado a empregar melhores tecnologias conhecidas, que terão sido desenvolvidas na fase anterior. Os limites fixados para esta fase são: 2.1 g/Km de CO; 0.3 g/Km de HC; 0.6 g/Km de NO<sub>x</sub>.

O PROCONVE fixa também o modo de acompanhamento. A primeira exigência é a homologação do modelo. Outras exigências são: a) as especificações voltadas ao controle de emissões devem constar dos manuais de manutenção do veículo; b) adesivos devem ser no veículo a fim de chamar atenção para os serviços de manutenção, além de indicar à população que o veículo atende às normas do programa; c) devem ser colocados lacres em pontos-chaves a fim de manter a regulagem da fábrica. Para os veículos pesados falta ainda estabelecer os limites de emissão de monóxido de carbono, hidrocarbonetos e óxidos de nitrogênio.

### 8.2.2.2. Modelo de previsão

Modelos de previsão para avaliação dos efeitos causados pelo tráfego de veículos automotores no meio-ambiente foram desenvolvidos para darem subsídios aos planejadores de transporte e engenheiros de tráfego. Joyce, Williams e Johnson desenvolveram dois modelos de previsão, um para material particulado (fumaça) e outro para monóxido de carbono, baseados em pesquisas feitas na área central de Londres. No entanto, por tratarem-se de modelos empírico, ajustado através de regressão linear, o poder preditivo é pequeno.

#### a) material particulado

A fumaça foi escolhida como sendo um aspecto da poluição a ser modelado, por ser um componente mais visível da exaustão, causando comentários e objeções da população e ser mais relacionado com veículos pesados movidos a óleo diesel. Neste modelo a fumaça é medida em termos do peso de partículas por unidade de volume de ar em µg/m<sup>3</sup>. e a expressão de uma concentração média para um período considerado é:

$$F = 0,1 (C_p + O + C_j) + 0,03 A - 2,5 q + 38$$

$$R^2 = 0,82 \quad \sigma = 18,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$$

onde: F - concentração média da fumaça durante o período de tempo considerado (µg/m<sup>3</sup>);

- $C_p$  - fluxo em um sentido (mais próximo) de veículos pesados (vph);
- $O$  - fluxo em um sentido (mais próximo) de ônibus (vph);
- $C_z$  - fluxo em um sentido (mais próximo) de veículos comerciais leves (vph);
- $A$  - fluxo em um sentido (mais próximo) de automóveis (vph);
- $W$  - velocidade média do vento durante o período considerado (vph)

#### b) Monóxido de carbono

O modelo para prever a concentração média de monóxido de carbono no ar, em ppm, em uma hora é:

$$CO = 0,006 A - 9 \log V_n - 0,3 W + 17 \quad \text{com} \quad R^2 = 0,74$$

onde:

- $CO$  - concentração média de monóxido de carbono no ar em um período considerado (ppm);
- $A$  - Fluxo em um sentido (mais próximo);
- $V_m$  - Velocidade média dos veículos no fluxo de um sentido (mais próximo) (km/h)
- $W$  - Velocidade média do vento durante o período considerado (km/h).

### 8.2.3. Capacidade ambiental de ruas

As discussões acima deixaram claro o seguinte: o crescimento do tráfego é geralmente acompanhado de impactos ambientais negativos. Esse fato fez surgir um novo conceito de capacidade de via, o qual provavelmente originou-se com Buchanan (1963). A capacidade da via não seria, segundo esse conceito, determinada pela velocidade de tráfego ou pelo nível de serviço, e sim pelo nível de qualidade do ambiente que se deseja para o local.

Vários critérios podem ser utilizados para determinar a capacidade ambiental das vias. Segundo Sharpe e Maximán (1972), os critérios podem incluir os efeitos de ruídos, odores, poluição do ar em geral, vibração, distúrbio na recepção dos sinais de rádio e televisão, sujeira, danos às vegetações e às vidas selvagens e também efeitos sobre seres humanos tais como segurança dos pedestres. Assim, a capacidade ambiental de vias seria estabelecido sobre inúmeros fatores. Os mais importantes são as características das vias em si, sua velocidade de projeto, número de faixas e suas larguras, número de intersecções, etc. Outro fator importante é a composição do tráfego das vias, em particular o volume de caminhões e outros veículos pesados que geralmente emitem grande quantidade de poluentes. Finalmente, devemos considerar as atividades desenvolvidas ao longo das vias, pois são estas que determinam o nível máximo aceitável de vários tipos de poluentes ou de impactos negativos.

A capacidade ambiental de uma estrada pode ser limitada para qualquer desses possíveis impactos. Portanto, a capacidade ambiental é definida como sendo o volume resultante do impacto mais restritivo.

### 8.3. Impactos sobre valor e uso do solo

Além dos impactos de sistemas de transporte sobre o ambiente natural, existem também impactos sobre uso do solo e valor do solo. Talvez o mais óbvio destes impactos seja a desapropriação para implantação de infra-estruturas de transporte. Outro elemento que altera o

uso do solo é a mudança no nível de serviço e custo monetário de transporte, uma vez que empresas e pessoas são atraídas a uma região ou uma zona pela melhoria destes atributos de transporte. Isto tem o potencial de mudar não somente o padrão de uso do solo mas também a qualidade de vida de uma sociedade inteira que ali vive. Porém, essa mudança na demanda pelo solo provoca alteração de seu preço em várias porções de uma região.

### 8.3.1. Impacto da desapropriação

De todos os impactos associados à implantação de uma nova infra-estrutura de transporte, ou de uma ampliação de uma infra-estrutura existente, a desapropriação parece ser o maior problema. Em princípio, a desapropriação tem a conotação de aquisição de terra para ali desenvolver uma atividade econômica em substituição à até então desenvolvida. Logo, seria uma transação comercial como qualquer outra, como aquisição de lotes urbanos para construção de edifícios residenciais, comerciais, ou industriais. Porém, a implantação de uma via significa adquirir uma faixa contínua de terra, o que implica em comprar a despeito da vontade dos proprietários. Mesmo que o solo seja adquirido a preço de mercado, essa imposição naturalmente cria controvérsia e descontentamentos. Sobretudo porque além da dificuldade de determinar o preço justo do solo, o valor de uma propriedade depende muito da preferência pessoal do dono. E, entre os desapropriados existem muitos que não estariam dispostos a mudar mesmo que pagassem mais do que o preço de mercado, pois os custos pessoais e problemas associados a relocação geralmente são muito grandes, muitas vezes maior do que o valor estabelecidos pelo mercado que afinal é formado por aqueles que querem comprar e pelos que querem vender.

Outro problema associado à desapropriação é que o uso posterior do solo (a implantação da infra-estrutura) traz inúmeros problemas à vizinhança da infra-estrutura. Por exemplo, uma via de grande porte pode segregar uma área em duas partes "pouco comunicáveis" (é o caso da linha da FEPASA que corta São Carlos em duas partes). Além disso, a operação sobre a infra-estrutura pode trazer efeitos indesejáveis tais como a poluição sonora, poluição do ar, vibração, maior risco de acidentes, etc. Um problema para o governo local é que o solo usado por infra-estrutura de transporte não rende imposto territorial (e urbano, quando for o caso) ao município e nem os impostos estaduais como ICMS (cuja parcela é repassada aos municípios) que poderiam estar sendo arrecadados caso o solo tivesse uso residencial, comercial ou industrial. É verdade que muitas vezes o aumento no nível de atividades na proximidade da infra-estrutura mais do que compensa essa perda.

### 8.3.2. Valorização Imobiliária

É plausível que melhoramentos no serviço de transporte numa determinada área, mantidas constantes todas as demais condições, resultem na elevação do preço da terra. Normalmente, empresas e pessoas admitem que a facilidade de locomoção de um lugar para outros influi na decisão de se estabelecer num determinado local. Vários estudos econométricos têm mostrado que a introdução de novos serviços de transporte de massa (metrô, por exemplo) provoca uma valorização das propriedades localizadas em sua área de atendimento. Assim, o preço do terreno ou da terra pode valorizar mais ou menos em função da acessibilidade e de outros atributos do nível de serviço. A redução no custo monetário do transporte permite que um produto seja extraído ou produzido numa região mais distante do centro consumidor ou de um porto de exportação, sem perder a competitividade em termos de preço final. Essa circunstância faz com que mais empresários, agricultores e pecuaristas procurem desenvolver suas atividades na terra

até então pouco aproveitada. A Figura 8.9. mostra que a redução no custo de transporte faz com que as pessoas se disponham a pagar um  $\Delta$  a mais pela terra localizada a distância  $D$  do centro de consumo ou de porto de exportação. Assim, a demanda que era  $D_0$  passa para  $D_1$ , e o preço da terra que era de  $P_0$  eleva-se para  $P_1$ . Também o volume de negócios fechados num determinado período de tempo aumenta de  $Q_0$  para  $Q_1$ .

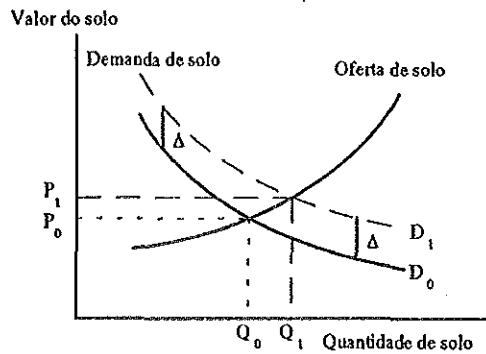


Figura 8.9: Aumento da demanda e conseqüente elevação no valor do solo

Mas a valorização imobiliária não se dá apenas pela redução no custo de transporte. Ela se dá também em função do nível de serviço. Em vários capítulos ressaltamos que a economia em transporte não se mede apenas pela redução no custo monetário, mas também pela redução no tempo de viagem, e outros atributos indesejáveis de transporte. A Companhia do Metropolitano de São Paulo -Metrô- realizou, em 1980, um estudo para estimar os acréscimos de valorização das áreas de terrenos utilizáveis provocadas pela implantação de novas linhas de metrô. As premissas básicas adotadas foram:

- em cada macrozona, o preço unitário dos terrenos é função, principalmente, do seu grau de acessibilidade em relação às demais macrozonas, bem como das restrições de uso e ocupação do solo imposta pelas legislações pertinentes ao uso do solo.
- em cada macrozona, a variação no preço unitário dos terrenos é função da economia propiciada nos deslocamentos efetuados com as novas linhas de metrô.

A partir destas premissas, procedeu-se à estimativa do impacto das novas linhas de metrô, definindo-se curvas de regressão estatisticamente representativas da relação entre o preço dos terrenos e a acessibilidade, em 1977, ano-base da coleta dos dados utilizados.

Os preços de terreno foram definidos por macrozona por serem estatisticamente consistentes somente neste nível de agregação. Ou seja, considerou-se que, numa macrozona, todas as zonas que têm o mesmo uso têm o mesmo preço. As zonas de uso estão definidas pela legislação vigente.

Como indicador da acessibilidade, por macrozona, utilizou-se o conceito de desutilidade por transporte coletivo, calculada conforme a expressão abaixo:

$$D_c = 2(t_a + t_e) + t_v + (n+1) T \alpha$$

onde:

$D_c$  - desutilidade por transporte coletivo (minutos)

$t_a$  - tempo de caminhada entre a origem e o ponto de embarque (minutos)

$t_e$  - tempo de espera



- $t_v$  - tempo de viagem no veículo  
 $n$  - número de transferências  
 $T$  - tarifa média  
 $\alpha$  - fator de conversão de Cr\$ em minutos, definido, com base na renda média familiar

Para cada uso do solo calibrou-se uma equação do preço em função de desutilidade, usando os dados de 81 macrozonas.

O efeito da implantação da nova linha sobre o nível de desutilidade foi calculado, para cada macrozona, a partir da diferença entre os valores de desutilidade estimados para o sistema de transporte coletivo previsto para 1990, sem a existência da linha de metrô, e os valores da desutilidade ajustados para 1990 com a linha de metrô em questão.

O efeito da melhoria da acessibilidade sobre o preço de terreno foi obtido do confronto entre os preços correspondentes às situações com e sem a nova linha.

A valorização estimada com a implantação da linha Paulista, para algumas macrozonas, está apresentada na Tabela VIII.11.

Tabela VIII.11

Valorização imobiliária de alguns bairros de São Paulo

| Macrozonas | Zona de Uso | Área de terreno utilizável m <sup>2</sup> | *Preço do terreno (Cr\$/m <sup>2</sup> ) | Desutilidades             |                           | *Preço dos terrenos com a linha (Cr\$/m <sup>2</sup> ) | Variação de *preço (Cr\$/m <sup>2</sup> ) |       | Variação Total (Cr\$) |   |
|------------|-------------|---|--|---------------------------|---------------------------|--|---|-------|-----------------------|---|
|            |             |   |  | em 1990 sem a linha (min) | em 1990 com a linha (min) |  | Valor                                     | Valor |                       | % |
|            |             |   |  |                           |                           |  |   |       |                       |   |
| Liberdade  | 2           | 222.457                                   | 2.489                                    | 90.119                    | 84.295                    | -  | -   | -     | -                     |   |
|            | 3           | 607.119                                   | 3.312                                    |                           |                           | -  | -   | -     | -                     | - |
|            | 5           | 213.463                                   | 4.812                                    |                           |                           | 5.070  | 258                                       | 5,36  | 55.073.454            |   |
|            | 10          | 47.431                                    | 3.312                                    |                           |                           | -  | -   | -     | -                     | - |
|            | 11          | 33.454                                    | 2.780                                    |                           |                           | -  | -   | -     | -                     | - |
|            | 12          | 233.283                                   | 3712                                     |                           |                           | -  | -   | -     | -                     | - |
| Consolação | 2           | 204.641                                   | 2.725                                    | 75.435                    | 74.256                    | 2.898  | 173                                       | 6,30  | 35.422.743            |   |
|            | 3           | 361.356                                   | 4.322                                    |                           |                           | -  | -   | -     | -                     | - |
|            | 5           | 814.288                                   | 5.880                                    |                           |                           | 6.536  | 656                                       | 11,15 | 534.172.926           |   |
|            | 12          | 10.889                                    | 4.322                                    |                           |                           | -  | -   | -     | -                     | - |

\* Cr\$ de 1977

- 2 Zona de uso predominantemente residencial de densidade demográfica baixa  
 3 Zona de uso predominantemente residencial de densidade demográfica média  
 5 Zona de uso misto de densidade demográfica alta  
 10 Zona de uso estritamente residencial de densidade demográfica média  
 11 Zona de uso predominantemente residencial de densidade demográfica baixa  
 12 Zona de uso predominantemente residencial de densidade demográfica média

### 8.3.4. Modelo de impacto do transporte coletivo

Um modelo simples e interessante que mostra os impactos de uma nova linha de transporte coletivo no custo de transporte e no valor do solo foi desenvolvido por Boyce e Allen (1973). Este modelo considera viagem de e para a área central de uma cidade num único corredor radial. As residências estão localizadas nas faixas laterais do corredor. Viagens de automóvel se dá em

linha reta da residência ao centro da cidade, enquanto que viagens pelo novo transporte coletivo é feita por intermédio de estações que se localizam no corredor. Todas as viagens são feitas só de automóvel ou de combinação auto + novo transporte coletivo. Cada pessoa escolhe a estação que resulta em menor custo total de viagem. O custo total de cada alternativa é expresso de maneira mais geral e pode representar uma combinação de custo monetário, tempo de viagem, e de outras características.

O custo de viajar de automóvel de qualquer ponto ( $i$ ) para o centro da cidade ( $o$ ) é:

$$C_{oi}^a = Ad_{oi} + S_o + P_{oi} \quad (8.12)$$

onde:  $C_{oi}^a$  - custo generalizado da viagem de automóvel do ponto  $i$  a ponto  $o$ ;

$A$  - custo generalizado de uso do automóvel por unidade de distância;

$d_{oi}$  - distância em linha reta do ponto  $o$  a ponto  $i$ ;

$S_o$  - tarifa de estacionamento em  $o$  (metade para cada viagem);

$P_{oi}$  - pedágio cobrado de  $o$  a  $i$ .

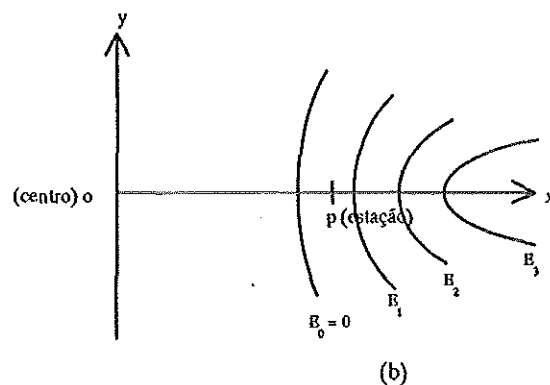
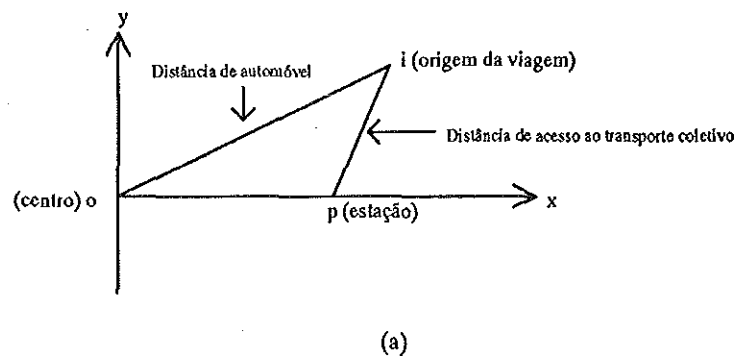


Figura 8.10: Um modelo de economia do custo de viagem. (a) O modelo. (b) Linha de isoeconomia para usuário da estação  $p$ .

Da mesma maneira, o custo ao usuário associado à alternativa auto + transporte coletivo é

$$C_{oi}^t = Ad_{op} + T_{pi} \quad (8.13)$$

onde:  $C_{oi}^t$  - custo total de automóvel até a estação  $p$  e de transporte coletivo de  $p$  a  $o$ ;

$d_{pi}$  - distância em linha reta do ponto  $i$  a estação  $p$ ;

$T_{op}$  - custo de estação  $p$  ao ponto  $o$ .

Dessa forma, torna-se possível comparar os custos de viagem, do centro da cidade até um ponto  $i$ , desses dois modos alternativos. A diferença entre o custo via automóvel e o custo via auto + transporte coletivo pode ser expressa como:

$$E_{oi} = Ad_{oi} + S + P - Ad_{pi} - T_{op} \quad (8.14)$$

onde:  $E_{oi}$  - quantia economizada por usar o transporte coletivo

Esta expressão indica a economia potencial dos moradores da área que passarem a utilizar o novo transporte coletivo. Linhas de isoeconomia pode ser determinada através da Equação (8.16). Na Figura 8.10b, a curva de  $E_0 = 0$  é o lugar geométrico dos pontos cuja economia é igual a zero. As viagens que tiverem origem nos pontos à direita desta curva se beneficiarão mais viajando pela combinação auto + coletivo do que unicamente de automóvel. O contrário ocorre à esquerda da curva. Além disso, quanto mais afastada estiver para a direita em relação à curva maior será a economia ao usar a combinação auto + coletivo. Assim,  $E_0 < E_1 < E_2 < E_3$ .

$$d_{oi} - d_{pi} = (E_{oi} + T_{op} - S - P)/A \quad (8.15)$$

que pode ser expressada em termos de  $x$  e  $y$ , ou seja, através de uma curva hiperbólica:

$$\sqrt{(x_i^2 + y_i^2)} - \sqrt{(x_i - x_p)^2 + y_i^2} = (E_{oi} + T_{op} - S - P)/A \quad (8.16)$$

onde:  $x_i$  - abscissa do ponto de origem  $i$ ;

$y_i$  - ordenada do ponto de origem  $i$ ;

$x_p$  - abscissa da estação  $p$ ;

Este modelo foi usado para estimar a economia resultante da introdução de uma nova linha de transporte coletivo de alta velocidade sobre trilhos com origem em Philadelphia. As principais conclusões deste estudo, segundo Mudge (1974) foram:

1. A linha teve um impacto positivo sobre as propriedades residenciais da vizinhança da área suburbana servida. Embora o acréscimo em valor de cada propriedade fossem pequeno em relação a seu valor, a somatória desses valores deu uma quantia considerável.
2. O impacto parece estar muito ligado à economia na viagem.
3. O impacto varia com grupo sócio-econômico, sendo mais visível nas classes inferiores do que nas classes abastadas.
4. Foram encontradas algumas evidências de que pelo menos uma parte do impacto, no corredor com nova linha de transporte coletivo, é transferido dos corredores vizinhos.

### 8.3.5. Reorganização espacial

A discussão teórica acima indica que não só o valor do solo se altera como resultado da mudança no sistema de transporte, mas também a localização espacial de várias atividades. A discussão foi orientada no sentido de mostrar que a implantação de um novo sistema pode tornar a viagem ao centro da cidade, isto é, ao trabalho, mais barato para uma boa porção da população. Isto é tanto mais verdade para os economicamente menos favorecidos, que não dispõem de automóvel. A análise acima é válida também para uma macro região. Basta que se

troque o centro da cidade por uma cidade e a periferia ou subúrbio por lugarejos. O fato é que a oferta de um novo modo de transporte ou melhoramentos promovidos nos modos existentes são sempre benéficas, ou pelo menos essa deve ser a orientação filosófica ao analisar um projeto.

Note-se que o fato de introduzir um novo meio de transporte numa região, ou melhorar o sistema de transporte existente, na verdade afastam-se as fronteiras geográficas e incorporam-se novos espaços à economia. O barateamento de transporte ocorrida numa região pela implantação de um novo modo, como a mostrada acima, permite, por exemplo, que a exploração de uma mina até então economicamente inviável se torne viável. Também uma indústria poderá localizar-se em região mais afastada do centro consumidor sem perder a competitividade em termos de preço final. No caso de transporte urbano, o seu barateamento possibilita que as pessoas fujam do alto custo de moradia da região central, e morem mais confortavelmente nos pontos um pouco mais afastados do centro.

Quanto à localização dos tipos de atividades econômicas em relação aos corredores de transporte, Metrô (1980) traz uma análise interessante. Como as atividades econômicas têm, quase sempre, nítidas orientações locais, algumas delas, como o comércio, e os serviços de âmbito local, preferem áreas de maior confluência de pessoas ou onde o contato com o consumidor seja mais intenso; outras, tais como o comércio e os serviços mais especializados, se dirigem para locais mais afastados, próximos aos corredores de transporte, que lhes garanta acessibilidade. Daquele primeiro tipo de estrutura originaram-se centros de bairros como os de Pinheiros, Ipiranga e Vila Prudente, em São Paulo. Já o segundo tipo produziu corredores terciários, como o da Avenida Paulista, Avenida Faria Lima. A intensificação desses processos espontâneos de assentamentos em áreas determinadas gerou uma concentração de atividades que, por sua vez, resultou numa polarização de localizações. A partir daí, o comércio e serviço inicialmente implantados demonstraram suas capacidades de atrair cada vez mais estabelecimentos do gênero e, principalmente, a concentração de residencial para seus entornos. Dessa forma, de um lado, a concentração populacional induziu à comercialização e à prestação de serviços para seu atendimento e, de outro lado, essas mesmas atividades se constituíram em atrativo para a localização de novos assentamentos residenciais.

Os tipos de polarização exercida por certas áreas sobre as demais geralmente decorrem de dois fatores. O primeiro se resume a uma característica do processo, ou seja, o elevado grau de interdependência entre os diversos ramos de serviço e comércio, que procuram tirar partido de proximidade mútua, compartilhando o mesmo espaço e interagindo mutuamente no atendimento ao vasto mercado consumidor por eles criado. O segundo é a localização da área em relação aos grandes corredores, pois estes proporcionam a ela uma privilegiada acessibilidade.

### 8.3.6. Efeitos sobre desenvolvimento regional

Na seção precedente discutimos a questão da reorganização de uso do solo dentro de uma área urbana, ou seja, da questão da redistribuição de uma população fixa ou do total de atividades numa área. Além disso, a melhoria do transporte pode aumentar o nível de atividades de uma região.

Teoricamente, a redução no custo de transporte resulta no aumento no volume total de bens e serviços disponíveis na sociedade. A razão é que o dinheiro economizado no transporte é usado para consumir (inclusive, mais transporte) ou poupar. A diferença básica entre consumo e poupança é que a última significa consumo futuro. O dinheiro gasto no consumo proporciona bem-estar ao consumidor, ao mesmo tempo em o dinheiro transferido ao produtor será usado para aumentar a produção. O aumento da produção leva à contratação de mais trabalhadores e

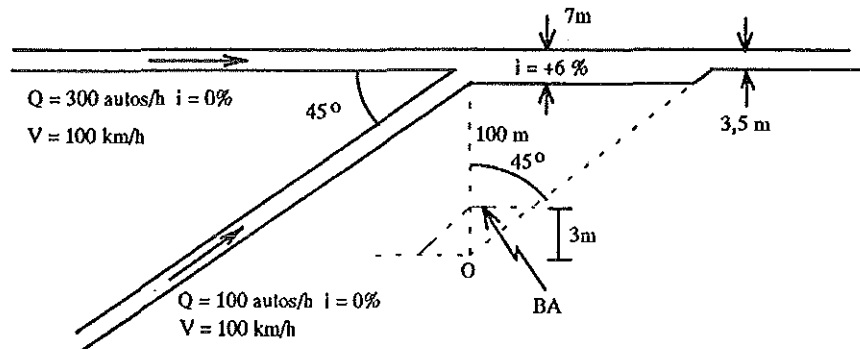
uso de maior quantidade de insumos, beneficiando produtores de insumos, e assim por diante. Como se vê, a redução no custo de transporte desencadeia um aumento geral no nível de atividades, e conseqüentemente no volume de recursos disponíveis na sociedade. Isto equivale a um aumento de renda global da sociedade.

Além do benefício proporcionado pela redução no custo de transporte, existem outros tipos de benefícios. Um exemplo é a exploração agrícola ou minerais que tornam possível graças à implantação de uma infra-estrutura de transporte ou graças à redução no custo de transporte. Muitas vezes, a redução no preço de transporte pode resultar no preço final do produto que o torna competitivo, por exemplo, no exterior. A receita oriunda da venda desse produto pode dar à sociedade acesso a produto até então inacessível, ou a mais bens e serviços para consumo.

Instrumentos que permitem estimar os prováveis efeitos econômicos do transporte dentro de uma região estão em constante evolução. Estes geralmente são os modelos macroeconômicos como por exemplo o Modelo Input-Output que representa as relações de interdependência entre todos os setores econômicos de um ou mais regiões do país, além de permitir que os efeitos de investimento num setor qualquer da economia, particularmente de transportes, sejam estimados.

### Exercício

8.1. Considere duas rodovias hipotéticas, de faixa única e com tráfego em sentido único, como mostra a figura abaixo.



Pede-se determinar o nível de som a que está sujeito o ponto O (que está 1,5 m acima do nível da via secundária), considerando que:

- 1) Não há nenhuma barreira acústica;
- 2) Existe uma barreira acústica de 3 m de altura ao longo da linha BA (a linha quebrada indicada na figura acima).

8.2. Qual será o nível de som no ponto O da questão anterior se uma barreira acústica de 2 m de altura é colocada paralelamente à pista, distante 6 m da borda da pista, ao longo de todos os trechos cobertos pela barreira BA da figura acima?

---

## 9. AVALIAÇÃO DE PROJETOS DE TRANSPORTE

---

### 9.1. Introdução

A avaliação de projetos de transportes é um assunto multidisciplinar, pois envolve aspectos tecnológicos, administrativos, financeiros e econômicos. Os aspectos tecnológicos tratam dos processos construtivos e dos materiais de construção utilizados na implantação do projeto e na manutenção e operação ao longo da vida da obra. Os aspectos administrativos estão ligados aos problemas de gerência e de pessoal que surgem na construção, manutenção e operação da obra. A avaliação financeira, por sua vez, refere-se à análise da possibilidade de o projeto vir a ser financeiramente viável, ou seja, de cumprir seus compromissos financeiros, proporcionar uma remuneração razoável do capital investido e, se for o caso, prover, através de suas receitas, um fundo para cobrir os investimentos futuros. Finalmente, a avaliação econômica de um projeto consiste em medir seus custos e benefícios econômicos, do ponto de vista do país como um todo, para determinar se os benefícios líquidos dele resultantes serão pelo menos iguais àqueles que poderiam ser obtidos de outras oportunidades de investimento.

Neste capítulo vamos discorrer sobre quais conseqüências do projeto devem ser incorporadas na análise, como elas devem ser mensuradas, quando um particular método de análise é apropriado e, ainda, como aplicar os vários métodos. Para efeitos didáticos, o trabalho apresenta os princípios, as relações e as metodologias necessárias, nesta ordem, para montar uma estrutura lógica de raciocínio que permita fornecer respostas às seguintes questões essenciais relacionadas ao investimento:

- a) qualquer investimento deve ser realizado?
- b) caso um investimento tenha de ser realizado, de que monta ele deve ser, e quando ele deve ocorrer?
- c) uma vez implantado, como este deve ser operado e, de quanto deve ser a tarifa, caso se pretenda cobrar?
- d) como conduzir a análise benefício-custo para projetos alternativos e opções políticas?

As três primeiras questões dizem respeito à otimalidade do projeto, isto é, trata-se de determinar o melhor projeto, a melhor dimensão das instalações, a tecnologia mais adequada, a melhor estratégia de operação, e a melhor política de tarifação. A quarta questão refere-se à sua possibilidade ou viabilidade. Ela envolve uma estimativa dos fluxos de benefício e custo que ocorrem a cada ano, ao longo da vida útil do projeto. Procura-se saber se o benefício oriundo do projeto supera o custo de sua implantação, e se existem alternativas viáveis de custo inicial baixo.

## 9.2. Noções básicas de matemática financeira

Nesta seção serão apresentadas algumas noções básicas de matemática financeira, tendo-se em vista a sua aplicação na avaliação financeira e econômica de projetos de transporte. Ao analisar a viabilidade financeira e econômica de projetos de transporte, analistas se deparam com custos e benefícios futuros. Custos de implantação, custos anuais de conservação e manutenção, custos de operação, benefícios oriundos da redução nos custos operacionais ou da redução no tempo de viagem, etc., de um projeto ocorrem ao longo de sua vida útil. Acontece que esses custos e benefícios são analisados no presente para que se possa ser emitido juízo sobre sua viabilidade financeira e econômica ou para que se possa escolher o projeto financeira e/ou economicamente mais viável entre as várias alternativas disponíveis. Nesse ponto, analistas se vêem obrigados a adotar uma maneira de transformar os custos e benefícios que ocorrem em diferentes épocas numa medida comum, pois, mesmo não havendo inflação, as pessoas atribuem a uma dada quantia de dinheiro um valor maior hoje do que amanhã (isto será melhor explicado depois). O procedimento para se fazer essa transformação, bem como os conceitos nele envolvidos, serão vistos a seguir.

### 9.2.1. Conceitos

- *Juros*

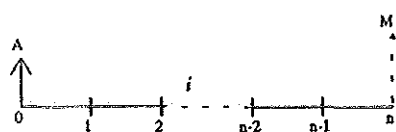
Dissemos acima que uma determinada quantia de dinheiro vale menos amanhã do que a mesma quantia hoje, mesmo numa situação em que a taxa de inflação seja zero. Talvez torne mais intuitivo se raciocinarmos em termos de bens. Vamos supor que você vá ganhar um automóvel Gol L de presente. Você prefere ganhá-lo hoje ou daqui a um ano? Com certeza você prefere ganhar hoje. Talvez você se disponha a abrir mão do presente hoje, se lhe prometerem que no ano que vem você ganhará um GOL LS ao invés de um GOL L. Um objeto ou um serviço têm valor pela satisfação ou bem estar que ele proporciona. Para que uma pessoa decida investir, em detrimento de consumo presente de bens e serviço, é necessário que haja uma compensação, ou seja, o investimento deve ser remunerado. O conceito de juro nasce daí. Portanto, o juro pode ser definido como sendo o valor da remuneração do capital. Na prática, o juro é expresso em termos de taxa em relação a períodos de tempo, (exemplo: 6% ao ano), e simbolicamente é representada pela letra  $i$ .

- *Regime de capitalização*

O processo de formação de juros pode ocorrer a juros simples ou a juros compostos. No regime de capitalização a juros simples, somente o capital inicial (principal) rende juros. Já no regime de capitalização a juros compostos, os juros formados a cada período de capitalização são incorporados ao principal e, juntos, passam a render juros para o próximo período de capitalização.

◦ *Equivalência de capitais*

O conceito de equivalência de capitais decorre do fato de que uma dada quantia de dinheiro tem valor diferente ao longo do tempo. Vale lembrar mais uma vez que estamos supondo que não há inflação. Então um total de dinheiro pode ser equivalente a um total diferente, em diferentes instantes de tempo, sob condições específicas. Assim, uma quantia  $A$  de hoje pode ser equivalente a uma quantia  $A+\Delta$  daqui a 1 ano. O acréscimo  $\Delta$  é a remuneração do capital. Se a taxa de juro for de 10% ao ano, podemos dizer que a quantia  $A$  atual é equivalente a  $1,1A$  do próximo ano. Em termos genéricos, dada uma taxa de juro  $i$  ao ano e um capital  $A$ , podemos expressar o seu valor equivalente após  $n$  anos, de acordo com a Equação (9.1). O diagrama abaixo, denominado diagrama de fluxos de caixa mostra o capital  $A$  em  $t = 0$ , e o seu equivalente  $M$  em  $t = n$  anos. O fator  $(1+i)^n$  é denominado *fator de acumulação de capital de um valor simples (FAC\*)*.



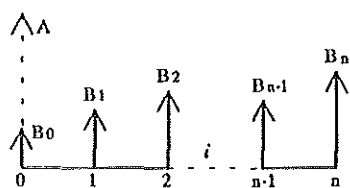
$$M = (1+i)^n \cdot A \quad (9.1)$$

Similarmente, podemos dizer que um montante  $M$  em  $t = n$  anos equivale a um valor atual  $A$ , calculado segundo Equação (9.2). O fator  $1/(1+i)^n$  é denominado *fator valor atual de um valor simples (FVA\*)*.



$$A = \frac{M}{(1+i)^n} \quad (9.2)$$

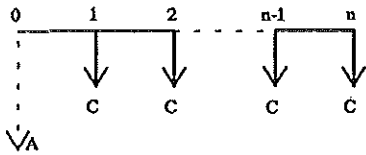
Se queremos determinar o valor equivalente na data  $t = 0$  dos fluxos de dinheiro indicado no diagrama abaixo, precisamos determinar o valor equivalente a cada um dos fluxos na data  $t = 0$ , e então somá-los.



$$A = B_0 + \frac{B_1}{(1+i)^1} + \frac{B_2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{B_{n-1}}{(1+i)^{n-1}} + \frac{B_n}{(1+i)^n} \quad (9.3)$$

Um caso particular do diagrama de fluxos acima é uma série de fluxos de mesmo valor, conforme mostra a figura abaixo. Este tipo de fluxo ocorre com grande frequência na nossa vida cotidiana. Por exemplo, é comum nos depararmos com anúncios dizendo "compre tal produto em 10 pagamentos iguais sem entrada". O cálculo do valor equivalente à série uniforme é simples, pois a soma dada pela Equação (9.3) passa a ser soma de uma progressão geométrica, com  $B_0 = 0$ , conforme mostra a Equação (9.4). A expressão em  $i$  que multiplica o valor  $C$  é denominado *fator de valor atual de uma série uniforme (FVA)*.

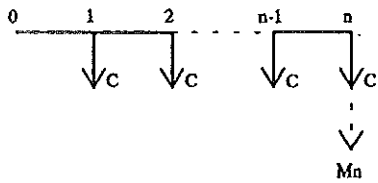




$$A = \frac{(1+i)^n - 1}{i \cdot (1+i)^n} \cdot C \tag{9.4}$$

$$FVA = \frac{(1+i)^n - 1}{i \cdot (1+i)^n}$$

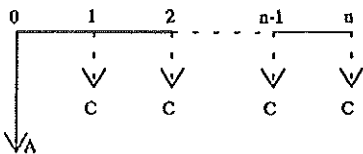
Para calcularmos o valor equivalente aos fluxos da figura acima na data  $t = n$  anos, podemos simplesmente calcular o valor equivalente de  $A$  na data  $t = n$ .



$$M_n = (1+i)^n \cdot \frac{(1+i)^n - 1}{i \cdot (1+i)^n} \cdot C \quad \text{ou} \quad M_n = \frac{(1+i)^n - 1}{i} \cdot C \tag{9.5}$$

O fator  $\frac{(1+i)^n - 1}{i}$  é denominado *fator de acumulação de capital de uma série uniforme* (FAC).

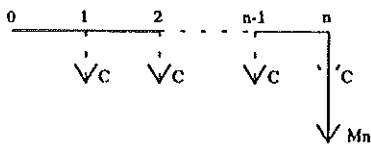
Agora, poderíamos fazer a seguinte pergunta: se o valor atual é  $A$ , qual é o valor equivalente de cada parcela ( $C$ ) de uma série uniforme? Para obter a resposta basta isolar a variável  $C$  na Equação (9.4). O resultado é mostrado pela Equação (9.6). O fator que está multiplicando  $A$  é denominado *fator de recuperação de capital de uma série uniforme* (FRC).



$$C = \frac{i \cdot (1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \cdot A \tag{9.6}$$

$$FRC = \frac{i \cdot (1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$$

Finalmente, dado o montante  $M_n$  na data  $t = n$ , o valor equivalente de cada parcela ( $C$ ) de uma série uniforme pode ser determinado conforme Equação (9.7).



$$C = \frac{i}{(1+i)^n - 1} \cdot M_n \tag{9.7}$$

O fator  $\frac{i}{(1+i)^n - 1}$  é denominado *fator de formação de capital de uma série uniforme*.

Os projetos de transporte, sobretudo quando se trata de infra-estruturas, dificilmente se encaixa ao caso de série uniforme, simplesmente porque tanto os custos como os benefícios são variáveis no tempo, dado que eles estão direta ou indiretamente atrelados à demanda por transporte. Assim, o mais comum é lançar mão da Equação (9.3).

### 9.3. Definição do ponto de vista do analista

As conseqüências oriundas de qualquer ação política devem ser incluídas no rol dos benefícios e custos para serem usadas no julgamento da viabilidade econômica. Essencialmente, isso envolve um julgamento sobre que ponto de vista adotar e, conseqüentemente, quais custos e benefícios devem ser considerados internos ao projeto e quais devem ser vistos como externos. Por exemplo, para um usuário de ônibus, o benefício está no fato de o modo viabilizar a transposição de uma distância física e de possibilitar que no destino o usuário se engaje numa atividade que direta ou indiretamente vai lhe proporcionar um bem estar, no presente ou no futuro. O custo para o usuário é o conjunto de recursos que ele gasta na viagem: dinheiro, tempo, energia física, etc. Por sua vez, o proprietário de uma empresa de transporte coletivo considera como benefício interno, aquilo que é custo para o usuário, isto é, a tarifa paga; o custo da empresa seria uma série de itens que compõem o conjunto dos insumos necessários para ofertar o serviço.

O problema de especificar os benefícios e custos torna-se mais complexo quando se consideram projetos públicos. Por exemplo, o DER-SP, ao decidir entre vários projetos alternativos, deve considerar as conseqüências apenas aos seus usuários, ou seja, à população inteira do Estado de São Paulo, ou à população do Brasil? Sem dúvida é uma questão polêmica, que admite muitos argumentos a favor e contra cada uma das considerações. Um dos argumentos a favor da última consideração, por exemplo, é o fato de que pelo menos em princípio se o Estado de São Paulo for bem o Brasil como um todo se beneficiará, uma vez que o governo federal arrecadará mais imposto que, por sua vez, será distribuído aos demais Estados da federação. Assim, é interessante para todos os brasileiros, também em princípio, que o governo do Estado de São Paulo tome decisões acertadas. Argumento contra: a grande maioria dos usuários será paulista. Logo estes serão os principais beneficiados, e portanto não há por que imputar as conseqüências a todos os brasileiros. Mas enfim, são essas considerações que levam o governo federal a participar da construção de obras, como METRÔ, que aparentemente beneficiam apenas os paulistanos. O ideal é que seja adotado o ponto de vista da população de uma nação na análise dos investimentos públicos.

Conforme vimos no Capítulo de Oferta de Transporte, é possível identificar os diferentes agentes envolvidos na oferta de transporte. São eles: ofertantes, operadores, usuários e órgãos que regulamentam a oferta, operação e uso dos componentes do sistema de transporte.

Na prática, os analistas de investimento sugerem que se adote o ponto de vista daqueles que pagam a conta, os quais podem ser usuários, contribuintes, etc. Esse é também a postura de Whol e Hendrickson que sugerem dois princípios de análise econômica de projetos:

1. Os itens relevantes de "custo" ou "benefício" são aqueles fatores ou elementos específicos que são afetados por um projeto e valorado pelos "donos".
2. Os itens de custo e benefício devem ser valorados em relação à importância e ao valor relativos que os indivíduos afetados atribuem a eles.

Não há dúvida de que a análise de projetos privados é muito mais simples que dos públicos. Naqueles os "custos" são desembolsos de dinheiro que são feitos na obtenção dos insumos de capital, trabalho, e serviço, ou para indenizar uma coisa ou outra; os "benefícios" incluem a receitas monetárias, auferidas como resultado do investimento. Em geral, apenas os itens, que de alguma maneira são trasladados ou possam ser expressos em termos monetários, é que são incluídos na análise.

No caso de investimento público em nível federal, todos os fatores ou elementos que têm valor ao público "proprietário" e que este está disposto a pagar (no sentido amplo) para tê-los, ou para deixar de perdê-los, serão incluídos. Assim, objetivos sociais e políticos podem ser incluídos na análise econômica, desde que o público esteja disposto a pagar para atingí-los.

A título de exemplo, vamos enumerar os principais benefícios e custos monetários de um sistema de transporte público de passageiros, para usuários, para não usuários, para empresas operadoras envolvidos no sistema e para o governo.

- *Usuários*
  - (+) Benefícios líquidos decorrentes da viagem
  - (-) Tarifas
  - (-) Parcela de impostos destinada ao subsídio do sistema de transporte público
- *Não usuários*
  - (-) Parcela de impostos destinada ao subsídio do sistema de transporte público
  - (?) Melhoria ou degradação do meio ambiente
  - (+) Valorização do terreno
- *Empresas operadoras*
  - (+) Tarifas
  - (-) Custos econômicos de operação
  - (-) Impostos
  - (+) Subsídios
- *Governo*
  - (+) Impostos cobrados dos usuários
  - (+) Impostos cobrados dos não usuários
  - (+) Impostos cobrados das empresas
  - (-) Subsídios
  - (-) Custo de capital dos investimentos necessários para a implantação do sistema
  - (-) Custos econômicos de manutenção do sistema

Do ponto de vista do usuário, os benefícios monetários decorrem da atividade desenvolvida no local de destino da sua viagem, e a magnitude do benefício é dada pelo preço que ele está disposto a pagar pela viagem; o custo monetário do usuário é a tarifa cobrada. Do ponto de vista das empresas operadoras, os benefícios são as receitas oriundas das tarifas e do subsídio

governamental, quando houver; seus custos são constituídos de custos econômicos de operação e de impostos pagos ao governo. Finalmente, do ponto de vista do governo, os benefícios são os impostos arrecadados das empresas de transporte; e tem como custos monetários os subsídios dados às empresas operadoras e custos econômicos de implantação e manutenção do sistema, quando for o caso.

Observe no exemplo, que as tarifas são custos para usuários mas são benefícios para os operadores. Logo, este ítem constitui uma transferência de usuários para empresas operadoras. Da mesma forma, impostos e subsídios são transferências de dinheiro entre a população e empresas operadoras e o governo.

Caso fossemos adotar na análise do projeto o ponto de vista do conjunto desses três agentes, os benefícios e custos totais seriam somados algebricamente. O resultado seria:

- (+) Benefícios líquidos decorrentes da viagem
- (+) Valorização do terreno
- (-) Custos econômicos de operação
- (-) Custo econômico do capital investido para a implantação do sistema
- (-) Custos econômicos de manutenção do sistema
- (?) Melhoria ou degradação do meio ambiente

A principal vantagem de enumerar os benefícios e custos para cada agente do sistema em separado é a facilidade de conferir a lista e a conseqüente redução na possibilidade de se fazer contagens duplas ou triplas de alguns ítems de benefícios ou custos.

Como a nossa intenção era mostrar a importância de se adotar um ponto de vista na análise de projetos, no exemplo acima consideramos apenas quatro agentes da sociedade, e além disso foram lembrados apenas alguns custos e benefícios. Na análise de projetos reais, devem ser considerados também os custos e benefícios que afetam uma região. Além disso, devem ser enumerados todos os tipos de impactos positivos e negativos decorrentes do projeto.

#### 9.4. Identificação e classificação de impactos

Uma das tarefas mais difíceis na avaliação é assegurar que todos, ou pelo menos a maioria, dos objetivos ou impactos foram identificados. Atualmente existem pouquíssimas técnicas disponíveis para este fim, e, em verdade, depende muito da competência daquele que define os impactos. Alguns são óbvios e estão indicados na literatura. Estes incluem os seguintes: redução de custo de transporte ao usuário; redução de custo de capital e de manutenção à sociedade (geralmente confunde-se com governo); diminuição de acidentes e de danos materiais; aumento do conforto, conveniência e confiabilidade; estímulo ao desenvolvimento econômico. Uma técnica que conduz à identificação mais exaustiva de objetivos foi desenvolvida por Dickey e Broderick (1972). Sua técnica envolve classificação em quatro grandes categorias: 1) humanidade e grupos; 2) ambiente natural; 3) ambiente artificial; 4) atividade humana. Conforme se vê na Tabela IX.1, cada um desses componentes pode ser subdividido. De fato, estes sub-elementos podem formar a base para uma eventual classificação mais detalhada de acordo com os impactos políticos, econômicos, sociais e ambientais. De qualquer maneira, a tabela pode ser utilizada como lista de "checagem".

**Tabela IX.1****Componente I: humanidade (e grupos)***Indivíduos e/ou famílias*

- I.1 Por idade
- I.2 Por raça, religião, cor, cultura étnica
- I.3 Por localidade (e futura localidade)
- I.4 Por sexo
- I.5 Por categoria de emprego
- I.6 Por tendência política
- I.7 Por renda
- I.8 Por nível de escolaridade
- I.9 Por tipo de personalidade (inclusive desvios)
- I.10 Por ocupação
- I.11 Por status social
- I.12 Por preferência de lazer
- I.13 Por poder/control

*Firmas e instituições*

- I.14 Empresas
- I.15 Grupos institucionais
- I.16 Agências governamentais, legislativos e judiciários
- I.17 Grupos sociais e clubes
- I.18 Por localidade (e futura localidade)
- I.19 Organizações militares
- I.20 Uniões
- I.21 Grupos privilegiados

**Tabela IX.2****Componente II: elementos de ambientes naturais**

- II.1 Reservas de minérios, petróleo, etc.
- II.2 Sistema fisiográfico (inclusive superfície da terra, etc.)
- II.3 Sistema hidrológico
- II.4 Clima (micro e macro)
- II.5 Vegetações (florestas, árvores, flores, etc.)
- II.6 Vida selvagem (animais aquáticos, mamíferos, insetos, etc.)
- II.7 Sistema marinho e estuarino
- II.8 Tempo
- II.9 Atmosfera

**Tabela IX.3****Componente III: elementos de ambientes artificiais**

- III.1 Alimento, bebida, tabaco, remédios
- III.2 Vestimenta
- III.3 Matérias primas; bens finais e intermediários
- III.4 Moradias
- III.5 Instalações de comunicação (correio, rádio, televisão, telefone, etc.)
- III.6 Instalações de transporte (vias, terminais, veículos, sistema de controle, etc.)
- III.7 Instalações educacionais e culturais
- III.8 Redes de água, esgoto, águas pluviais, sistema de coleta de lixo sólido, etc.

|        |   |
|--------|---|
| III.9  | Instalações de saúde (hospitais, sanatórios, ambulatórios, etc.)                      |
| III.10 | Geração e distribuição de energia (eletricidade, gás natural, petróleo, etc.)         |
| III.11 | Instalações de produção (escritório, maquinários, área de estoque, armazéns, etc.)    |
| III.12 | Instalações de comércio (atacadista e varejista) e de serviços                        |
| III.13 | Instalações militares (bases, campos de treinamento, área de armazenagem, etc.)       |
| III.14 | Instalações governamentais, policiais, judiciais, de bombeiros, e de bem estar social |
| III.15 | Instalações de lazer e recreativas (parques, clubes, organizações fraternais, etc.)   |
| III.16 | Sistema de informações  |
| III.17 | Capital monetário (estoque, títulos, etc.)  |
| III.18 | Leis (força policial, zoneamento, etc.)   |
| III.19 | Energia   |

Tabela IX.4

## Componente IV: Agentes e atividades

|       | Agentes               | Atividades                                  |
|-------|-----------------------|---|
| IV.1  | Indivíduos e famílias | Produção de renda                           |
| IV.2  |                       | Desenvolvimento de crianças e família       |
| IV.3  |                       | Educacional e intelectual                   |
| IV.4  |                       | Desenvolvimento espiritual                  |
| IV.5  |                       | Social                                      |
| IV.6  |                       | Recreacionais                               |
| IV.7  |                       | Clubes                                      |
| IV.8  |                       | Serviços e políticas comunitárias           |
| IV.9  |                       | Associado com alimento, compra, saúde, etc. |
| IV.10 |                       | Viagem                                      |
| IV.11 | Firmas                | Produção de bens                            |
| IV.12 |                       | Produção de serviços                        |
| IV.13 | Instituições          | Desenvolvimento humano                      |
| IV.14 |                       | Prestação de serviço básico à comunidade    |
| IV.15 |                       | Para bem estar e para grupos especiais      |
| IV.16 | Todos (a longo prazo) | Migração                                    |
| IV.17 |                       | Investimento                                |
| IV.18 |                       | Crime, Guerra                               |

Finalmente, a implantação de infra-estrutura de transporte ou mesmo a melhoria no nível de manutenção e de operação pode disparar uma complicada cadeia de eventos que não está bem compreendida. Um passo importante na análise de impactos é a identificação dos grupos de pessoas que devem ou podem sofrer impactos. A importância surge do natural desejo de dirigir projetos para um grupo como, por exemplo, as pessoas pobres. Uma lista de possíveis grupos a serem considerados está apresentado na Tabela IX.1 a IX.4.

#### 9.4. Estimativa de Benefícios de projetos de transporte

Conforme discutimos brevemente no Capítulo 8 - Equilíbrio entre Demanda e Oferta de Transporte - os custos e benefícios de um projeto de transporte são obtidos a partir do equilíbrio entre a demanda e oferta. Nesta seção serão detalhadas um pouco mais a relação entre demanda e benefícios com o objetivo de se chegar aos procedimentos geralmente adotados na prática. Quanto ao custo de transporte, recomenda-se que leitores revisem o Capítulo 4 - Custos de Transporte, e, quando se tratar de avaliação econômica, o leitor deve levar em conta não os

custos praticados no mercado mas sim os custos econômicos cujas conceituação e discussões estão apresentadas na Seção 9.5.

#### 9.4.1. Benefícios de um projeto de transporte

A função demanda por transporte expressa uma relação de dependência entre o fluxo de usuários e o custo ao usuário (ou *preço* = gastos monetários + gasto de tempo e esforço físico na viagem). Uma função demanda pode ser também interpretada como sendo o *preço* que um determinado usuário está disposto a pagar pela viagem. No Capítulo 3 - Demanda por transporte - dissemos que um usuário de transporte essencialmente deseja engajar-se numa atividade que lhe proporcione, agora ou no futuro, um certo bem estar, e que a viagem ocorre porque essa atividade não é exercida no local de origem. Se o motivo não fosse importante, provavelmente a pessoa não se disporia a viajar. Quanto mais importante o motivo, maior será o *preço* que o usuário estará disposto a pagar. Na Figura 9.1, os usuários potenciais são colocados lado a lado ao longo do eixo de volume em ordem decrescente do *preço* que cada um está disposto a pagar. O primeiro pagaria  $P_1$ , o segundo  $P_2$ , etc. Podemos supor que o benefício extra que o usuário 1 obtém da viagem é igual a  $(P_1 \times 1 \text{ usuário})$  que é a área do primeiro trapézio; o benefício extra do usuário 2 é igual a  $(P_2 \times 1 \text{ usuário})$  que é a área do segundo trapézio, e assim por diante, até o  $n$ -ésimo usuário cujo benefício é dado pela área  $P_n \times 1 \text{ usuário}$ . O total de benefícios extra ou benefício líquido total é dado pela área sob a curva de demanda, à esquerda do volume de equilíbrio ( $Q_E$ ). Já para a  $(n+1)$ -ésima pessoa, o custo (vide a curva de custo ao usuário) é maior do que o *preço* que ela está disposta a pagar e, portanto, nessa situação ela não será usuária do sistema em questão. Ela faz parte dos usuários em potencial, pois tão logo se verifique uma redução no custo ao usuário, ela passará a ser uma usuária. Mas por enquanto a sua demanda por aquele sistema fica reprimida.

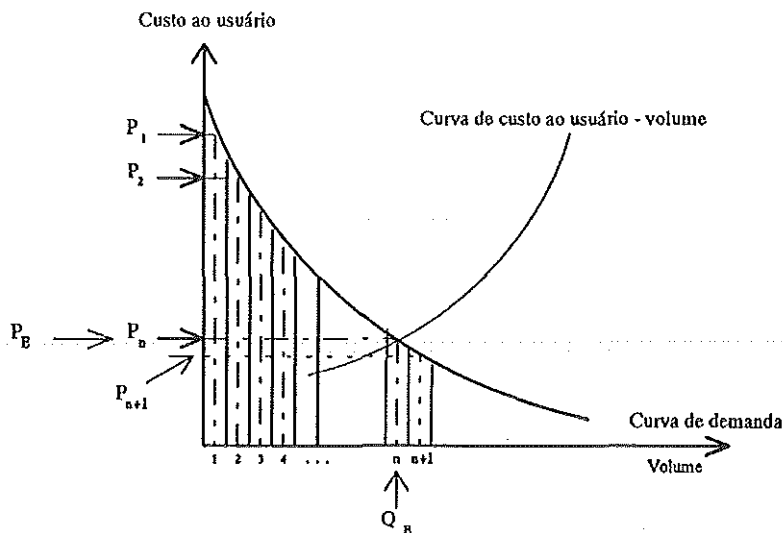


Figura 9.1: Demanda por transporte e utilidade da viagem.

Note-se que se o *preço* ou (custo ao usuário) de equilíbrio é  $P_E$ , então todos os usuários estão sujeitos a esse *preço*. Dessa forma, os primeiros  $n$  usuários pagam menos do que estão dispostos a pagar. A diferença entre o *preço* que o usuário está disposto a pagar e aquilo que realmente ele paga é denominado excedente do usuário (uma espécie de "lucro" do usuário). O excedente do usuário é portanto a área compreendida entre a curva de demanda, o eixo das ordenadas e a reta horizontal que passa pelo ponto de equilíbrio demanda-oferta. O excedente do usuário é geralmente aceito como uma medida do benefício de um projeto de transporte.

Podemos notar também que se a oferta fosse maior (isto é, se a curva de oferta estivesse deslocada para a direita), o custo ao usuário seria menor e o excedente do usuário maior. Esta é a situação que normalmente se observa quando se faz algum tipo de melhoramento no sistema de transporte. A Figura 9.2 ilustra esse caso com curvas de oferta do sistema A e do sistema B. O sistema A representa um sistema de transporte existente, e o sistema B, o sistema melhorado (reformado, ampliado, etc.). Observe-se que no sistema A o excedente do usuário é dado pela área do "triângulo" AHD, enquanto que no sistema B o excedente do usuário corresponde ao "triângulo" BHE. Portanto, o benefício ao usuário proporcionado pela mudança do sistema A para o B é medido pela área do "trapézio" ADEB, que é a diferença entre as áreas dos dois "triângulos".

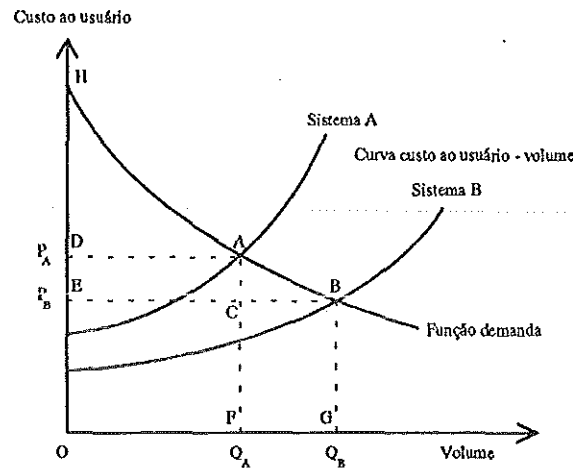


Figura 9.2: Equilíbrio demanda-oferta no sistema existente (sistema A) e no sistema após o melhoramento (sistema B)

Resumindo o que foi acima exposto, podemos indicar na Figura 9.2 os seguintes benefícios e custos (áreas):

- benefício total ao usuário no sistema A: "trapézio" AHOF.
- custo ao usuário no sistema A: retângulo ADOF.
- excedente do usuário a preço  $P_A$ : "triângulo" AHD.
- benefício total ao usuário no sistema B: "trapézio" BHOG.
- custo ao usuário no sistema B: retângulo BEOG.
- excedente do usuário a preço  $P_B$ : "triângulo" BHE.
- benefício devido a aumento na oferta de transporte: "trapézio" ADEB.

É importante lembrar que só podemos obter o último benefício da lista acima (ADEB) se tivermos um sistema de transporte em operação, e se estivermos analisando um sistema substitutivo (ao melhorarmos um sistema, podemos considerar que estamos substituindo o sistema existente por um melhor). Caso contrário, o benefício da implantação do sistema A, por exemplo, será medido pelo "triângulo" AHD. Não se deve confundir um sistema substitutivo com o sistema alternativo, pois pressupõe-se que este coexistirá com o existente, e, portanto, precisamos inicialmente analisar a divisão da demanda por viagem entre esses dois sistemas. Ao analisarmos um sistema substitutivo em relação ao existente, na prática o benefício total é calculado através da seguinte expressão:

$$B = (P_A - P_B) \cdot (Q_A + Q_B) / 2 \quad (9.8)$$



- onde:  $P_A$  é custo ao usuário no sistema existente;  
 $P_B$  é custo ao usuário no sistema substitutivo ao existente;  
 $Q_A$  é volume de equilíbrio no sistema existente; e  
 $Q_B$  é volume de equilíbrio no sistema substitutivo ao existente.

A Equação (9.8) não é nada mais do que uma aproximação para a área do "trapézio" ADEB. Todavia, na prática geralmente obtemos separadamente a redução no custo monetário e a redução nos outros custos (normalmente somente consideramos a redução no tempo de viagem), e assim o benefício total é obtido pela soma dessas duas parcelas. O custo ao usuário ( $P_A$ ) no sistema existente é:

$$P_A = C_A + a \cdot T_A \quad (9.9)$$

- onde:  $C_A$  é custo monetário da viagem no sistema existente;  
 $T_A$  é tempo de viagem no sistema existente;  
 $a$  é valor do tempo, em unidade monetária/unidade de tempo.

Por sua vez, o custo ao usuário ( $P_B$ ) no sistema substitutivo será:

$$P_B = C_B + a \cdot T_B \quad (9.10)$$

- onde:  $C_B$  é custo monetário da viagem no sistema substitutivo;  
 $T_B$  é tempo de viagem no sistema substitutivo;  
 $a$  é valor do tempo, em unidade monetária/unidade de tempo.

$$\text{Logo, } P_A - P_B = (C_A - C_B) + a \cdot (T_A - T_B) \quad (9.11)$$

Substituindo a Equação (9.11) em (9.8), temos:

$$B = (C_A - C_B) \cdot (Q_A + Q_B) / 2 + a \cdot (T_A - T_B) \cdot (Q_B + Q_A) / 2 \quad (9.12)$$

A Equação (9.12) é o procedimento geralmente adotado na prática para se estimar o valor dos benefícios obtidos pelos usuários.

Aqui cabe uma observação importante quanto ao fato de estarmos considerando a redução no tempo de viagem um benefício monetário. Isto decorre da generalização da idéia do custo de oportunidade do tempo. O tempo economizado tem significados monetários diferentes nas situações diferentes. Para uma empresa, cujo empregado viaja a seu serviço, o tempo de viagem do empregado significa salário, ou seja, o tempo de viagem economizado pode ser usado na produção de bens ou serviços; para um empregado que viaja para o trabalho, o tempo viagem economizado poderia estar sendo usado numa atividade rentável, seja fazendo hora-extra de trabalho seja fazendo um "bico". Portanto, o uso alternativo que se pode fazer do tempo economizado é que confere a ele um sentido econômico. É verdade que oportunidades de fazer hora-extra de trabalho, por exemplo, dependem da conjuntura econômica da região em questão. Numa situação em que existe um grande contingente de desempregados seria difícil usar o tempo economizado em hora-extra. Além disso, existem usuários que aproveitariam o tempo economizado em lazer. Qual seria o valor do tempo para eles? É uma questão difícil de responder, principalmente porque o valor do tempo depende muito da situação sócio-econômica

e da cultura do usuário. De qualquer forma, os métodos apresentados no Capítulo 3 -Demanda por Transporte- permitem estimar o valor médio que cada segmento da sociedade atribui ao tempo.

Voltando aos benefícios, o desmembramento da área ADEB em duas parcelas (área do retângulo ADEC e área do triângulo ACB) permite discutir um pouco mais detalhadamente os benefícios. A área do retângulo ADEC corresponde aos benefícios auferidos pelos usuários do sistema existente com o melhoramento do sistema, enquanto que a área do triângulo ACB corresponde aos benefícios obtidos por uma parcela de usuários em potencial que têm sua demanda pela viagem reprimida pelo elevado *preço*, e que passarão a usar o sistema melhorado. O volume de usuários adicionais beneficiados pelo melhoramento é de  $(Q_B - Q_A)$ . A Equação (9.8) desmembrada nessas duas parcelas fica:

$$B = (P_A - P_B) \cdot Q_A + (P_A - P_B) \cdot (Q_B - Q_A) / 2 \quad (9.13)$$

Observe que todos os usuários do sistema existente beneficiam-se da diferença integral dos custos ao usuário, enquanto que os novos usuários auferem, em média, benefícios correspondentes à metade da diferença dos custos ao usuário.

#### 9.4.2. Benefícios anuais do melhoramento de um sistema de transporte

Na seção anterior analisamos os benefícios do melhoramento de um sistema de transporte num determinado momento da vida do projeto. Porém, quando se faz avaliação de projetos, essa análise é feita ano a ano, pois tanto os benefícios quanto os custos variam ao longo do tempo. Vimos que benefícios têm relação direta com a curva de demanda que se modifica de um ano para outro. Essa variação, que geralmente é positiva, pode acontecer, conforme vimos no Capítulo 3 -Demanda por transporte, por causa do aumento da população das zonas de origem e/ou do aumento de atratividade das zonas de destino que usam o sistema, ou ainda devido ao aumento da renda média nas zonas que incrementa a interação entre elas.

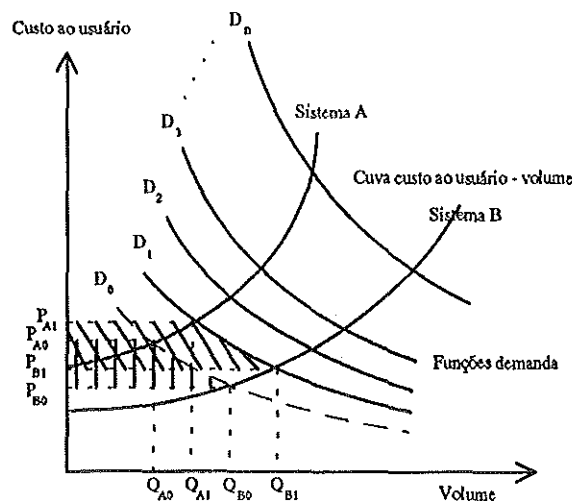


Figura 9.3: Equilíbrio ano a ano no sistema existente e no sistema melhorado.

Na Figura 9.3 estão apresentadas as curvas de demanda variando de  $D_0$  (demanda no início da operação) até  $D_n$  (demanda no último ano do projeto ou do período de análise), e as curvas de oferta do sistema existente (A) e do sistema melhorado (B). Os benefícios ao usuários no

primeiro ano equivalem à área hachurada com linhas verticais (demanda de referência  $D_0$ ), os benefícios do segundo ano correspondem à área hachurada com linhas inclinadas (demanda de referência  $D_1$ ), e assim por diante.

#### 9.4.3. Outros benefícios de transporte

O princípio a ser seguido ao estimar os benefícios econômicos de novos investimentos consiste em somar as variações no bem estar de todos os indivíduos afetados pelo investimento, inclusive os não-usuários. Várias são as categorias de benefícios sugeridas. Uma delas são os lucros dos produtores e comerciantes que passam a vender mais graças ao incremento na acessibilidade e na circulação de pessoas. Outra seria o aumento no valor dos terrenos. Porém, esses benefícios são extremamente difíceis de serem mensurados. Além disso, é de se supor que esses aumentos teriam ocorrido mesmo que o investimento não tivesse sido em transporte, e sim em hospitais, escolas, etc. É também possível que o aumento de venda, por exemplo, na região que recebe o investimento ocorra em detrimento de outras zonas. Em suma, na realidade, o transporte tem a capacidade de concentrar atividades econômicas que provavelmente teria ocorrido em algum lugar. Portanto podemos tratar a maioria dos benefícios desta natureza como se fossem transferências de benefícios. É claro que se o ponto de vista adotado é o de uma região, e não de uma nação como um todo, esses efeitos devem ser levados em conta. Mas, tratando-se de ponto de vista da nação, esses efeitos devem ser considerados meras transferências.

O segundo tipo de benefício que podemos citar é o chamado efeito multiplicador da economia. Quando uma pessoa, habitante de uma região, economiza dinheiro em consequência da redução no custo de transporte, ela o poupa para consumir no futuro, ou gasta-o na compra de diferentes bens e/ou serviços. No caso de empresas, reduções do custo de transporte rodoviário aumentam o seu lucro, caso não haja concorrência, ou caso contrário, uma parte é repassada aos consumidores. Quem quer que sejam os beneficiados, a quantia correspondente a redução do custo é utilizada para adquirir bens e serviços, e vai mudando de mão em mão. E, nesse processo, os produtores de bens e serviços produzem mais, lucram mais, compram mais dos seus fornecedores, e assim por diante. É um processo multiplicador, em que a região como um todo ganha. No entanto, assim como no caso anterior, usualmente se considera, por uma questão de simplicidade, que esses tipos de benefícios podem ser obtidos onde quer que o dinheiro seja investido.

Outro tipo de benefício externo é a disponibilidade do transporte, mesmo para os não usuários. É o caso do sistema de transporte coletivo, que tem valor pela disponibilidade em si. Mesmo um usuário de automóvel tem a consciência de que pode vir a precisar do transporte coletivo, quando acontecer algum problema no seu carro. Entretanto, mais uma vez, é difícil de medir este tipo de benefício.

Para finalizar a seção, cabe observar que investimentos em transporte podem servir a objetivos sociais. Em particular, investimentos podem ser usados no sentido de promover alguma redistribuição de renda em favor dos menos favorecidos economicamente. Para se atingir esse objetivo, usualmente pondera-se os benefícios auferidos pela classe social menos favorecida com um peso maior do que o peso adotado para ponderar os benefícios obtidos pela classe mais abastada. Os objetivos dessa natureza serão tratados mais adiante, na Seção 9.6.3 - Método de avaliação e seleção multi-objetivos e multi-critérios.

### 9.5. Custo econômico (ou social)

O custo econômico de um projeto deve refletir o custo que realmente represente para uma sociedade o uso dos recursos no projeto. O custo de cada um dos recursos alocados para o projeto representa o benefício que ele poderia proporcionar à sociedade no seu uso alternativo. Vamos explicar melhor usando a Figura 9.4 onde são mostradas as curvas de demanda e de oferta de um dos recursos usados no projeto. Já discutimos nas seções acima, que a ordenada da curva de demanda significa o preço que uma pessoa está disposta a pagar para se ter um bem qualquer. Suponhamos que antes de se usar o recurso no projeto o equilíbrio se desse a preço  $P_R$  e quantidade  $Q_R$ . Ao empregar uma unidade de recurso no projeto, a demanda aumentaria de uma unidade e a curva de demanda deslocar-se-ia para a direita, conforme mostra

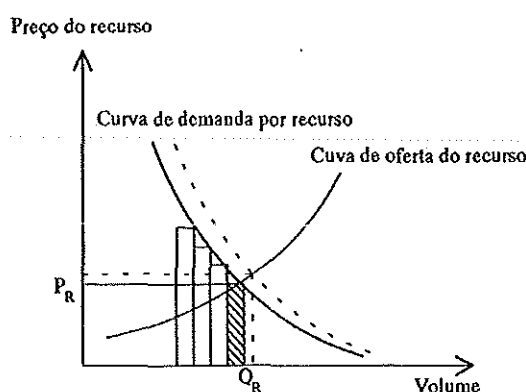


Figura 9.4: Custo econômico de um recurso utilizado no projeto

a curva tracejada na Figura 9.4. Conseqüentemente, a sociedade deixaria de ter o benefício ( $P_R$ ) antes proporcionado pela última unidade do recurso (o retângulo hachurado). Observe que a elevação do preço priva uma pessoa do benefício de consumir o recurso. Logo, esse benefício que deixou de ser auferido pela sociedade é o custo social  $P_R$  de se usar uma unidade do recurso no projeto. O custo social de um recurso assim definido é, portanto, o preço estabelecido pelo equilíbrio entre a demanda e oferta do mercado no regime de concorrência perfeita. Ocorre, porém, que muitas vezes o mercado não é perfeitamente competitivo e tampouco isento de interferência governamental. Nesse caso, o preço não refletiria o custo social real, e portanto, para corrigir essa distorção, busca-se o preço hipotético que estaria estabelecido caso o mercado fosse perfeitamente competitivo. A esse preço hipotético dá-se o nome de "preço sombra" ou "preço econômico".

Além disso, pelo fato de o custo econômico ser um custo à sociedade, os impostos não são considerados custos porque, do ponto de vista da sociedade, os impostos tais como IPI, ICMS, etc., são meras transferências. A seguir, discutiremos brevemente os ítems que às vezes requerem ajustes. Geralmente, esses ítems são: impostos, salário dos trabalhadores, câmbio, e juros.

- Impostos

Os impostos indiretos sobre recursos utilizados na oferta de transporte constituem custo para quem o paga, mas não refletem necessariamente custos econômicos para o país como um todo. Da mesma forma, taxas e licenciamento também devem ser excluídos.

- Taxa de câmbio

Nos países em desenvolvimento, governos tendem a fixar artificialmente o valor oficial da moeda nacional em relação às estrangeiras. Os motivos são inúmeros, como por exemplo, tornar barato o produto importado, através da supervalorização da moeda nacional; ou, inversamente, tornar o produto nacional barato aos estrangeiros subvalorizando a moeda nacional, com o que aumentaria o volume de exportação. A primeira tática é empregada para estimular investimentos e combater a remarcação de preço dos produtos nacionais. A segunda tem como finalidade aumentar o nível de reserva de moedas estrangeiras para eventual pagamento das dívidas externas. Qualquer que seja a razão, o fato é que quando a taxa de câmbio é fixada artificialmente, o comércio exterior é feito com base nos preços irrealistas. Uma maneira de se chegar a preço econômico para comércio exterior consiste em desenvolver uma taxa de câmbio (sombra) e usá-la para converter o preço do comércio exterior em termos de moeda doméstica. Este enfoque é empregado na maioria dos projetos financiados pelo Banco Mundial.

- Salários

Nos países onde existem leis do salário mínimo e outros regulamentos rígidos, os salários efetivamente pagos não refletem corretamente os custos reais de mão-de-obra. Numa economia onde existe um grande contingente de desempregados e subempregados, o preço sombra da mão-de-obra pode ser considerado zero. Isto porque o custo social de empregar uma pessoa no projeto é equivalente ao benefício que essa pessoa gerava à empresa onde ela trabalhava. Supõe-se que o salário corresponda ao benefício que um empregado proporciona à empresa. Logo, num mercado sem distorção, o salário que uma pessoa ganhava no emprego de onde foi desviado para o projeto representa o custo social da mão-de-obra. Como o salário de um desempregado é zero, o custo social da mão de obra é também zero.

- Juros

Na ausência de mercados livres, torna-se difícil determinar o custo econômico do capital. Os recursos governamentais para investimento em transporte muitas vezes são proporcionados a taxas inferiores ao seu custo para o governo. Mesmo que aquelas taxas cubram este custo, ele não refletirá os custos econômicos se for obtido por coerção, direta ou indireta, tais como empréstimos compulsórios, etc.

A fim de ilustrar o cálculo do custo econômico, apresentaremos dois exemplos constantes no trabalho "Aspecto metodológicos para implantação do tróleibus em corredores urbanos". O trabalho foi realizado em 1983, por um consórcio de consultoras para a comissão SEPLAN/ENERGIA, com o objetivo de definir uma metodologia para a seleção da tecnologia mais adequada (entre Tróleibus simples, Padrão simples e ônibus diesel comum) para casos específicos. Na realidade, dada a semelhança entre tecnologias, o trabalho se limita a excluir os impostos.

### Custos unitários do investimento em veículos

(Cr\$1.000 de agosto de 1983)

| Tecnologia          | Custo financeiro | Custo econômico (1) |
|---------------------|------------------|---------------------|
| Tróleibus simples   | 61.000           | 51.240              |
| Padrão simples      | 33.000           | 27.720              |
| Ônibus diesel comum | 21.715           | 18.240              |

(1) imposto descontado: 16% ICM

### Custos unitários do investimento em veículos auxiliares

(Cr\$1.000 de agosto de 1983)

| Tecnologia           | Custo financeiro | Custo econômico (1) |
|----------------------|------------------|---------------------|
| Automóvel Sedan      | 1.508            | 1.206               |
| Automóvel Utilitário | 2.579            | 2.206               |
| Caminhão Reboque     | 19.276           | 15.421              |
| Caminhão Munck       | 13.827           | 11.062              |
| Caminhão Torre       | 16.946           | 13.557              |

(1) imposto descontado: 5% de IPI e 16% ICM

Por fim, cabe lembrar que embora as instituições de assistência técnica e financiamento recomendem a avaliação social, ela é raramente realizada no Brasil. E, quando é realizada, geralmente os analistas se limitam a descontar os impostos indiretos embutidos no preço.

### 9.6. Análise benefício-custo para alternativas mutuamente exclusivas

Vamos começar ressaltando que em quase todos os sentidos a análise custo benefício pouco difere do planejamento econômico de longo prazo. Os princípios a serem usados são virtualmente idênticos. A diferença é que na análise benefício-custo enfoca-se apenas um subconjunto específico de alternativas. Isto é, a análise benefício-custo é dirigida apenas à avaliação de um conjunto específico de alternativas tecnológicas ou políticas, enquanto que o planejamento econômico de longo prazo é dirigido no sentido de identificar as melhores alternativas entre uma gama bem maior de possibilidades tecnológicas. Além disso, a análise benefício-custo tende a ser muito mais detalhada do que o planejamento econômico de longo prazo.

O termo mutuamente exclusivas implica que uma e somente uma alternativa será escolhida. Com relação ao conjunto de alternativas analisadas, não se pode esquecer de considerar a **alternativa nula**, que significa a alternativa de nada fazer. Em outras palavras, é a alternativa de não ofertar o transporte em questão. Não haverá nem benefício nem custo. Quando se trata de analisar uma modalidade de transporte inteiramente nova, parece que não há qualquer dúvida. No entanto, quando se trata de analisar uma alternativa para melhorar o serviço já existente (por exemplo, duplicação de uma via, ampliação de um terminal, melhoria do trânsito de uma cidade), a tendência geral é a de, erroneamente (segundo Wohl e Hendrickson, 1984), considerar a situação atual como sendo a alternativa nula. Para esses autores, isto é um pretexto para dar continuidade ao serviço ofertado, sem pensar no seu mérito econômico. De fato, ao admitirmos a situação atual como alternativa nula, isto é, como um referencial para comparações, estaremos analisando o acréscimo de benefícios e acréscimo de custos em relação àquilo que existe, e caso esse benefício adicional seja maior do que o custo adicional, a melhoria do serviço tem chances de ser executada. Na pior das hipóteses será dada continuidade ao serviço atualmente ofertado. E a possibilidade de abandonar aquele serviço nem será cogitada.

Exemplificando: vamos supor que a oferta de um serviço esteja custando à sociedade 1 bilhão de cruzeiros por ano, e que o benefício auferido pela sociedade seja de 500 milhões de cruzeiros por ano; vamos considerar que estes valores sejam desconhecidos do analista de

projeto; um projeto de melhoria prevê que investindo 300 milhões de cruzeiros por ano a sociedade se beneficiará de um acréscimo de 500 milhões por ano. Tomando-se como referência a situação atual, chega-se à conclusão de que a melhoria deve ser feita. No entanto, no final das contas a sociedade continua perdendo.

*De qualquer maneira, a prática corrente na área de transporte é considerar a alternativa existente como sendo a alternativa nula.*

Por exemplo, se a Rodovia Washington Luiz não estivesse duplicada, como estaria hoje o tráfego nela? Possivelmente teríamos congestionamento em algumas horas do dia. Mesmo que isso não chegasse a acontecer, a velocidade média na estrada teria diminuído bastante, simplesmente pela dificuldade de ultrapassar veículos lentos na via de pista única com grande tráfego. Provavelmente teríamos aqui algo parecido com a BR 116. Isto seria uma das conseqüências da alternativa nula (alternativa existente) considerada na época em que o projeto de duplicação da Washington Luiz foi analisado.

### **9.6.1. Princípios básicos subjacentes à análise benefício-custo**

Os princípios da análise benefício-custo designam-se a determinar se um conjunto de alternativas mutuamente exclusivas contém algumas alternativas economicamente interessantes e, caso afirmativo, qual delas é a melhor do ponto de vista econômico. Métodos de análise benefício-custo são usados para assegurar que: (1) nenhum projeto será considerado economicamente interessante a menos que seu benefício total líquido seja positivo; e (2) o projeto com maior benefício total líquido será escolhido.

Os métodos de análise designam-se a levar em conta o período de tempo ou a data em que se verificam fluxos de custos ou de benefícios, e assim assegurar que benefícios ou custos ocorridos durante diferentes períodos de tempo sejam convertidos em valores equivalentes. Essencialmente, isto significa reconhecer que os recursos ganhos ou gastos hoje têm mais valor que no futuro.

#### **9.6.1.1. Horizonte de projeto ou período de análise**

Quaisquer projetos alternativos devem ser analisados para o mesmo período, especialmente quando eles têm diferentes horizontes de projeto. Inicialmente, analistas examinam para todas as alternativas, as condições em que benefícios e custos esperados ocorrem ao longo do período de análise, e determinam, com base na expectativa de benefícios e custos futuros, a época e o montante do desembolso inicial mais apropriados. Caso um dos projetos tenha vida útil menor do que outros, analistas devem procurar outras oportunidades para aplicar o capital recuperado e os benefícios auferidos ao longo da vida útil do projeto. De maneira similar, os analistas não devem esquecer de contabilizar os benefícios oriundos do reinvestimento das receitas e dos benefícios que ocorrem ao longo da vida útil, inclusive no período entre o término da vida útil do projeto e o término do período de análise.

Existem muitas maneiras de escolher o período de análise e assegurar que projetos alternativos sejam apropriadamente comparados com relação a benefícios e custos. Podemos simplesmente adotar, arbitrariamente, um período de tempo de acordo com a vida útil dos componentes dos projetos ou de acordo com outros aspectos quaisquer. A escolha poderia se basear no período de tempo em que custos e benefícios podem ser previstos com certa confiabilidade. Outra maneira é escolher o período de tempo que seja o mínimo múltiplo comum das vidas úteis dos projetos alternativos. Esta última, embora seja muito usada, apresenta algumas restrições: primeira, é implicitamente assumido que o capital será sempre reinvestido no final da vida útil, até completar o período dado pelo mínimo múltiplo comum; segunda, supõe-se

que o custo de reinvestimento será exatamente o mesmo do original. Estas suposições não levam em consideração vários aspectos da vida real: mudança na tecnologia de construção, modificação nos preços relativos, etc. O mais razoável, segundo Wohl e Hendrickson (1984), é designar arbitrariamente um período no qual o futuro seja previsível, e então estimar, ano a ano, os desembolsos, seja para investimentos iniciais seja para reinvestimentos, atentando também para mudanças de qualquer natureza que possa ocorrer no horizonte de planejamento.

#### 9.6.1.2. Custo de oportunidade de capital ou taxa de retorno de mínima atratividade

Para todos os métodos de análise benefício-custo é necessário especificar uma taxa de juro. Especificamente, quando se usa o método de taxa interna de retorno (TIR), a taxa de juro a ser especificada refere-se à taxa de retorno de atratividade mínima (TRAM), uma taxa que reflete o juro que pode ser auferido de outras oportunidades de investimento. Este termo é equivalente ao termo que economistas chamam de custo de oportunidade do capital. Na realidade, a escolha da taxa de mínima atratividade depende muito do objetivo do projeto e da natureza da entidade que se dispõe a financiá-lo. Numa extremidade estão as taxas praticadas no mercado, e noutro extremo está a taxa de desconto social. Assim, a taxa pode variar muito, desde uns 4% até 20% ou mais ao ano (sem considerar a taxa de inflação). Dada a amplitude de possibilidades, é preciso que a taxa seja adotada tendo-se em vista o objetivo do projeto e a natureza da entidade financiadora.

Os recursos podem ser consumidos agora ou economizados para o uso futuro; da mesma forma, programas podem ser concebidos para principalmente beneficiar a nossa geração ou para beneficiar gerações futuras.

#### 9.6.2. Métodos de análise benefício-custo

São muitos os métodos de análise benefício-custo disponíveis, entre os quais serão discutidos aqui os quatro métodos mais usados na análise de projetos de transporte: 1) Valor Presente Líquido; 2) Razão Benefício-Custo; 3) Razão Benefício-Custo Incremental; e 4) Taxa Interna de Retorno. Estes métodos são aplicados aos valores presentes de benefícios e custos. A grande maioria dos economistas é da opinião de que o método do Valor Presente Líquido é o melhor deles, principalmente pela simplicidade e por não haver ambigüidade ao indicar a alternativa que tem o maior potencial econômico. Nenhum dos demais é tão objetivo e alguns podem apresentar indicadores econômicos ambíguos ou incorretos. Na apresentação e discussão dos métodos serão adotadas as seguintes notações:

$i$  = taxa de juro ou de desconto (taxa de retorno de mínima atratividade), expresso em decimal;

$n$  = duração do período de análise ou horizonte de planejamento, em anos;

$C_{x,t}$  = custos esperados para o projeto  $x$  durante o ano  $t$ ;

$B_{x,t}$  = benefícios esperados (ou receitas) a ser auferido do projeto  $x$  durante o ano  $t$ .

Por questão de conveniência, será suposto que os benefícios ou custos,  $B_{x,t}$  ou  $C_{x,t}$ , ocorrem no final do ano  $t$ . Em todas as alternativas, exceto a de "nada fazer" e a de abandonar (para as quais  $C_{x,t} = B_{x,t} = 0$  para todo  $t$ ), haverá algum desembolso do custo inicial em  $t = 0$ , e os benefícios ou receitas geralmente começam a surgir a partir de  $t = 1$ . Seja como for, a formulação é geral e aplica-se a qualquer situação. Os fluxos de custos e benefícios durante os  $n$  anos do horizonte de planejamento para qualquer projeto  $x$  será semelhante ao apresentado na Figura 9.5. Usualmente os benefícios são indicados com as setas voltadas para cima (positivo), e os custos com as setas voltadas para baixo (negativo).



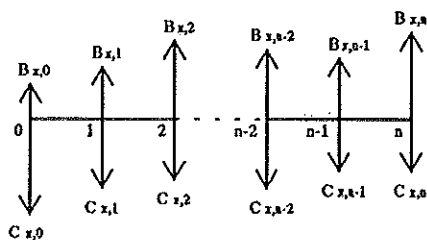


Figura 9.5: Fluxos de benefícios e de custos

Se existem várias alternativas, geralmente elas são ordenadas de tal maneira que a alternativa de menor montante de custo inicial seja a primeira (alternativa 1), e a alternativa de maior custo inicial seja a última. Embora tal ordenação seja adequada para se aplicar os métodos do Valor Presente Líquido e da Razão Benefício-Custo, ela não é muito apropriada para o método da Taxa Interna de Retorno, pois às vezes pode apresentar alguma incoerência no resultado. Porém, geralmente adota-se essa ordenação. Leitores interessados em aprofundar nesta questão, poderão consultar o livro de Wohl e Hendrickson (1984) que discutem a questão com bastante propriedade.

#### 9.6.2.1. Valor Presente Líquido

Neste método, calcula-se o valor presente dos fluxos de benefícios e de custos e os resultados somados algebricamente, resultando o valor presente líquido. Portanto, para qualquer alternativa  $x$  o valor presente líquido dos fluxos para um período de  $n$  anos, com taxa de desconto de  $i$  seria

$$[VPL_{x,n}]_i = \sum_{t=0}^n \frac{B_{x,t}}{(1+i)^t} - \sum_{t=0}^n \frac{C_{x,t}}{(1+i)^t} = \sum_{t=0}^n \frac{B_{x,t} - C_{x,t}}{(1+i)^t} \quad (9.1)$$

O valor presente líquido deve ser determinado para cada alternativa de  $x = 1, 2, \dots, m$ . Todas as alternativas que têm valor presente líquido não negativo podem ser consideradas economicamente viáveis, enquanto que a melhor alternativa é a que tem o maior valor presente líquido não negativo. Através deste método, tanto a empresa privada como a pública pode maximizar os benefícios líquidos, sejam eles financeiros ou sociais. Quando o custo de oportunidade do capital for desconhecido ou sujeito a dúvidas, os cálculos podem ser repetidos para diferentes taxas e os resultados finais comparados. Também, se o valor presente líquido cresce da alternativa 1 (de menor custo inicial) para a alternativa 2, então podemos estar certos de que o valor presente dos benefícios extras excedem o valor presente dos custos extras. Caso contrário o valor presente líquido não seria maior.

Muitos economistas afirmam que não existe método de análise benefício-custo mais simples, mais completo, e menos tedioso do que este. O método é aplicável em situações em que existem restrições orçamentárias ou quando se trata de selecionar um conjunto de alternativas economicamente mais viáveis dentre grande número de alternativas. Em tais casos, basta que sejam escolhidos projetos cujos custos iniciais totais sejam menores do que a restrição orçamentária e os montantes dos valores presentes líquidos sejam os maiores.

#### 9.6.2.4. Razão Benefício-Custo

O método consiste em determinar os valores presentes de benefícios e de custos e obter a razão entre eles, como mostra a Equação (9.2). O principal motivo de estarmos apresentando

este método é que, apesar de tudo, ele é ainda usado, e muitos projetos trazem esse indicador.  $RBC \geq 1$  indica que a alternativa é economicamente viável.

$$[RBC_{x,n}]_i = \frac{\sum_{t=0}^n \frac{B_{x,t}}{(1+i)^t}}{\sum_{t=0}^n \frac{C_{x,t}}{(1+i)^t}} \quad (9.2)$$

Escolher a alternativa com o maior valor de RBC significa maximizar o retorno por cruzado de custo, o que não quer dizer que estamos maximizando o valor presente líquido. De qualquer maneira, quando o indicador RBC é apresentado juntamente com outros indicadores, tais como VPL e TIR, acrescenta uma informação a mais. Todavia, não é recomendável que a seleção de alternativa seja feita exclusivamente com base neste critério.

#### 9.6.2.2. Razão Benefício-Custo Incremental

É um método muito usado nos setores públicos. Neste método também utiliza-se os mesmos valores presentes dos fluxos de benefícios e de custos determinados no método do Valor Presente Líquido. Um procedimento apropriado conduzirá invariavelmente às mesmas decisões (em relação ao método Valor Presente Líquido) quanto às alternativas economicamente viáveis e quanto à melhor das alternativas. A única diferença é que este método requer cálculos extra e que às vezes a interpretação da razão fica sujeita a confusão.

Inicialmente, as alternativas são ordenadas de maneira que a alternativa 1 seja aquela que tem o menor custo inicial, a alternativa 2 a que tem o segundo menor custo inicial, etc., tal como no método anterior. Após essa ordenação seguem-se dois passos importantes, um dos quais (o primeiro passo) é freqüente e impropriamente ignorado.

O primeiro passo é concebido a fim de determinar se todas as alternativas são viáveis economicamente. Simplesmente, determina-se a razão benefício-custo para a alternativa 1, como mostra a Equação (9.3), e verifica-se se ela é maior ou igual a um.

$$[RBC_{1,n}]_i = \frac{\sum_{t=0}^n \frac{B_{1,t}}{(1+i)^t}}{\sum_{t=0}^n \frac{C_{1,t}}{(1+i)^t}} \geq 1 \quad (9.3)$$

$[RBC_{1,n}]_i$  é a razão benefício-custo para alternativa 1 num período de análise de  $n$  anos para taxa de oportunidade de capital  $i$ . Se a razão é igual ou maior do que 1.0, a alternativa 1 pode ser considerada aceitável. Se, porém, a razão para esta alternativa de menor custo inicial for menor do que 1.0, então ela será rejeitada e será calculada a razão benefício-custo para a alternativa 2. Este processo é repetido até encontrarmos a alternativa com RBC maior ou igual a 1.0. Se todas as alternativas tiverem RBC menor do que 1.0, todas elas devem ser rejeitadas (economicamente falando). Vamos então supor que  $x$  seja, dentro daquela ordem, a primeira alternativa economicamente viável. Em outras palavras, sabemos que a alternativa  $x$  é melhor do que outras alternativas analisadas anteriormente.

$$[RBC_{x,n}]_i = \frac{\sum_{t=0}^n \frac{B_{x,t}}{(1+i)^t}}{\sum_{t=0}^n \frac{C_{x,t}}{(1+i)^t}} \geq 1 \quad (9.4)$$

O segundo passo consiste em determinar se a alternativa  $x$  é melhor ou não do que as alternativas com custos iniciais maiores do que o dela. Isto é, devemos justificar qualquer incremento adicional de custo. Para essa finalidade, calculamos a razão benefício-custo incremental para os gastos adicionais.

$$[RBCI_{x+1/x,n}]_i = \left( \sum_{t=0}^n \frac{B_{x+1,t}}{(1+i)^t} - \sum_{t=0}^n \frac{B_{x,t}}{(1+i)^t} \right) / \left( \sum_{t=0}^n \frac{C_{x+1,t}}{(1+i)^t} - \sum_{t=0}^n \frac{C_{x,t}}{(1+i)^t} \right) \geq 1 \quad (9.5)$$

Se  $[RBCI_{x+1/x,n}]_i$  for menor do que 1.0, passa-se a calcular  $[RBCI_{x+2/x,n}]_i$  e assim por diante, até encontrar uma alternativa cuja razão benefício-custo incremental em relação à alternativa  $x$  seja maior ou igual a 1.0. Digamos que a alternativa  $y$  foi a primeira a satisfazer essa condição. Logo, a alternativa  $y$  será melhor do que a  $x$  e passará a ser a alternativa de referência, e a razão benefício-custo incremental da alternativa  $y+1$  deverá ser calculada em relação a  $y$ . Caso não haja nenhuma alternativa com RBCI maior que 1.0 em relação a alternativa  $x$ , esta pode ser considerada a mais viável (economicamente) de todas as alternativas. Uma observação importante é que a regra só é válida quando o numerador e o denominador forem positivos.

Com relação ao sinal dos benefícios e custos incrementais, podemos afirmar que quando ambos, numerador e denominador, forem negativos, a alternativa de ordem superior será melhor se a RBCI for menor ou igual a 1.0; quando apenas o denominador for negativo, a alternativa de ordem superior será preferível; e quando apenas o numerador for negativo, a alternativa de ordem inferior será preferível. Para ilustrar o caso vamos apresentar um exemplo.

Exemplo:

|                             | Alternativas |      |                |                |
|-----------------------------|--------------|------|----------------|----------------|
|                             | 1            | 2    | 3              | 4              |
| $C_{x,0}$ (custos iniciais) | 50           | 55   | 60             | 65             |
| VPBT <sup>a</sup>           | 175          | 258  | 360            | 320            |
| VPCT <sup>b</sup>           | 180          | 200  | 300            | 250            |
| RBC <sup>c</sup>            | 0.95         | 1.29 | 1.20           | 1.28           |
| VPL <sup>d</sup>            | -5           | 58   | 60             | 70             |
| RBCI <sub>3/2</sub>         |              |      | 102/100 = 1.02 |                |
| RBCI <sub>4/3</sub>         |              |      |                | -40/-50 = 0.80 |

<sup>a</sup> Valor presente dos benefícios totais; <sup>b</sup> Valor presente dos custos totais; <sup>c</sup> Razão Benefício-Custo; <sup>d</sup> Valor presente líquido

A tabela acima mostra 4 alternativas com os respectivos custos iniciais, valor presente dos benefícios e custos. A análise deve se processar da seguinte forma:

1. A razão benefício-custo para a alternativa de ordem mais baixa ( $x = 1$ ) é 0.95 que é menor do que 1.0 e, portanto, deve ser rejeitada;
2. A razão benefício custo para a alternativa 2 é 1.29, indicando, assim, que esta é a primeira alternativa aceitável;
3. Calcula-se a razão benefício-custo incremental da alternativa 3 em relação a alternativa 2, ou seja,  $(360-258)/(300-200) = 1.02$ , o que mostra que a alternativa 3 é mais desejável do ponto de vista econômico;
4. Calcula-se, então, a razão benefício-custo incremental da alternativa 4 em relação a 3. A razão fica  $(320-360)/(250-300) = -40/-50 = 0.8$ , com numerador e denominador negativos. Significa que, com o incremento de custo inicial, deixa de ganhar 40, mas por outro lado deixa de gastar 50. Logo a alternativa 4 é mais desejável do que a 3, ou seja, é a melhor de todas.

Note-se que a alternativa 2, cuja razão benefício-custo é 1.29, não é a melhor alternativa. Além disso, tanto o método do valor presente como o método da razão benefício-custo incremental indicaram a alternativa 4 como sendo a melhor entre todas as alternativas apresentadas.

### 9.6.2.3. Taxa Interna de Retorno

Este é um dos métodos mais utilizados na avaliação de projetos. Porém, às vezes, ele pode resultar em escolhas incorretas, principalmente quando se comparam projetos alternativos de diferentes níveis de investimento (nesses casos convém utilizar o método da taxa interna de retorno incremental).

Por definição, a taxa interna de retorno é a taxa de juro ou desconto para o qual o módulo do valor presente dos benefícios iguala ao módulo do valor presente dos custos. Assim, para qualquer alternativa  $x$ , a taxa interna de retorno  $i_x$  é a taxa que satisfaz a seguinte condição:

$$\sum_{t=0}^n \frac{B_{x,t}}{(1+i_x)^t} = \sum_{t=0}^n \frac{C_{x,t}}{(1+i_x)^t} \quad (9.6)$$

onde:  $1/(1+i_x)^t$  é o fator de desconto para o método de taxa interna de retorno.

Para que um projeto seja considerado economicamente viável segundo este critério, é preciso que a taxa interna de retorno seja maior do que a taxa de retorno de mínima atratividade. Para isso precisamos adotar uma taxa de mínima atratividade (TMA). Essa taxa determina a linha de corte. Uma alternativa cuja taxa interna de retorno seja menor do que a TMA, será rejeitada, e caso contrário a alternativa será considerada economicamente aceitável.

Analistas favoráveis ao método da TIR argumentam que a vantagem do método está no fato de não ser necessário adotar uma taxa de desconto (ou taxa de juro, ou ainda, taxa de oportunidade). Porém, esse argumento não é válido, pois necessariamente temos que adotar uma TMA, que é a mesma taxa usada no método do valor presente líquido. Assim, os métodos são idênticos no que se refere a informações necessárias.

Entre as alternativas economicamente aceitáveis, considera-se a melhor alternativa aquela que tiver a maior taxa interna de retorno.

### 9.6.2.4. Taxa interna de Retorno Incremental

É um método muito utilizado na avaliação de projetos, sobretudo nos setores privados da economia. Basicamente, ele é um complemento ao método da taxa interna de retorno, e permite evitar erros de avaliação que podem ocorrer da simples comparação entre as taxas de retorno estimadas para cada um dos projetos alternativos. O método tem dois passos essenciais. Mais uma vez, a regra a ser seguida é a de inicialmente ordenar as alternativas, segundo custos iniciais crescentes.

O *primeiro* passo consiste em determinar a taxa interna de retorno para a alternativa 1. Uma vez determinada a taxa interna de retorno para a alternativa 1, devemos perguntar se essa taxa é aceitável ou não, comparando com a taxa de mínima atratividade (TMA). Caso afirmativo, a alternativa é considerada economicamente viável e usada como alternativa de referência. Caso contrário, rejeita-se a alternativa e calcula-se a taxa interna de retorno da alternativa 2, e assim por diante, até encontrar uma alternativa economicamente viável. Vamos supor que essa alternativa viável seja a  $x$ -ésima.

O *segundo* passo consiste em determinar a taxa interna de retorno dos custos e benefícios incrementais quando se passa de alternativa  $x$  (primeira alternativa economicamente viável dentro da ordem acima estabelecida) para a alternativa  $x+1$ , conforme mostra a Equação (9.7).

$$\sum_{t=0}^n \frac{B_{x+1,t} - B_{x,t}}{(1 + i_{x+1/x})^t} = \sum_{t=0}^n \frac{C_{x+1,t} - C_{x,t}}{(1 + i_{x+1/x})^t} \quad (9.7)$$

Se a taxa interna de retorno incremental  $i_{x+1/x}$  for menor do que TMA, rejeita-se a alternativa  $x+1$ , e passa-se a calcular a taxa  $i_{x+2/x}$ . Compara-se este valor com a TMA, e assim por diante, até obter a melhor alternativa, a exemplo do método da Razão Benefício-Custo Incremental.

A análise do exemplo a seguir se processa da seguinte forma:

1. A taxa de retorno para a alternativa de menor custo inicial é 7.8%, ou seja, menor que a taxa de mínima atratividade (TMA = 10%);
2. A taxa de retorno para a alternativa de segundo menor custo inicial é 12.9% e portanto maior que TMA; logo, a alternativa 2 é a alternativa aceitável de menor custo inicial;
3. Verifica-se se existe alguma alternativa cuja taxa interna de retorno incremental (TIRI) seja maior que TMA. A alternativa 3 apresenta TIRI de 8.7% que é menor que TMA, e portanto é rejeitada.
4. Finalmente, a TIRI da alternativa 4 em relação a alternativa 2 é de 10.5%, que é maior do que a TMA, e assim podemos concluir que a alternativa 4 é a melhor entre as 4 alternativas.

É importante notar que não devemos simplesmente calcular a taxa interna de retorno para cada alternativa e escolher a alternativa que apresenta a maior taxa. Uma alta taxa interna de retorno não significa que a lucratividade global seja também a maior.

*Exemplo:*

|   | 1                    |                  | 2                |                  | 3                |                  | 4                |                  |
|---|----------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| Ano(t)                                  | B <sub>1,t</sub>     | C <sub>1,t</sub> | B <sub>2,t</sub> | C <sub>2,t</sub> | B <sub>3,t</sub> | C <sub>3,t</sub> | B <sub>4,t</sub> | C <sub>4,t</sub> |
| 0                                       | 0                    | \$100            | 0                | \$105            | 0                | \$111            | 0                | \$115            |
| 1                                       | \$54                 | 0                | \$61             | 0                | \$62             | 0                | \$63             | 0                |
| 2                                       | \$58                 | 0                | \$65             | 0                | \$71             | 0                | \$75             | 0                |
|   | $i_1 = 7.8\% < 10\%$ |                  | $i_2 = 12.9\%$   |                  | $i_3 = 12.6\%$   |                  | $i_4 = 12.7\%$   |                  |
| TIRI <sub>3/2</sub>                     | $i_{3/2} = 8.7\%$    |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
| TIRI <sub>4/2</sub>                     | $i_{4/2} = 10.5\%$   |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
| [VPL <sub>x,2</sub> ] <sub>10%</sub>    | -\$2.98              |                  | +\$4.17          |                  | +\$4.04          |                  | +\$4.26          |                  |
| [RBC <sub>x,2</sub> ] <sub>10%</sub>    | 0.970                |                  | 1.040            |                  | 1.036            |                  | 1.037            |                  |
| [RBCI <sub>3/2,2</sub> ] <sub>10%</sub> | 0.978                |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
| [RBCI <sub>4/2,2</sub> ] <sub>10%</sub> | 1.008                |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |

TMA=10%

Concluindo a seção, podemos dizer que o melhor método de avaliação é o do valor presente líquido que indica, de maneira simples e sem ambigüidade, a melhor alternativa em termos econômicos. No livro "Transportation Investment and Pricing Principles" de Wohl e Hendrickson (1984), os autores recomendam que a avaliação seja feita através do método como

o Valor Presente Líquido, e que outras medidas de mérito de projetos tais como Taxa Interna de Retorno e Razão Benefício-Custo sejam apresentados como indicadores suplementares.

**Exemplo:** Acesso ao Litoral Norte e Porto de São Sebastião - Estudo de Viabilidade Técnico-Econômica da Rodovia do Sol.

Alguns aspectos deste estudo já foram apresentados no Capítulo 4 - Custos de Transporte. Agora veremos os benefícios e custos e a avaliação financeira da alternativa selecionada: Rodovia do Sol que é uma espécie de prolongamento da Rodovia D. Pedro I para o Litoral Norte do Estado de São Paulo. A rodovia tem uma extensão de 100 km e 4 faixas de tráfego.

#### **Custos:**

##### Investimentos:

Implantação da Rodovia: 564,41 milhões de dólares

Ampliação do Porto de São Sebastião: 60,00 milhões de dólares

##### Manutenção e conservação:

Rodovia (valor adotado pela DERSA - US\$ 7.320/km): 3,16 milhões de dólares/ano

Porto: 0,92 milhão de dólares/ano

#### **Benefícios:**

##### *Veículos de passeio:*

###### Custo monetário:

0,08 US\$/km (custo operacional) x 16 km (redução de distância) = 1,08 US\$/viagem

###### Redução de tempo:

1h/viagem x 3,2 passag/veíc. x US\$ 6,25/h (renda per capita horária da Região de Campinas) = US\$ 12,00

##### *Ônibus:*

###### Custo monetário:

0,34 US\$/km (custo operacional) x 16 km (redução de distância) = 5,44 US\$/viagem

###### Redução de tempo:

1h/viagem x 28 passag/ônibus x US\$ 2,05/h = US\$ 57,40/viagem

##### *Caminhões:*

###### Custo monetário:

0,27 US\$/km (custo operacional) x 16 km (redução de distância) =  
= 4,32 US\$/viagem

###### Redução de tempo:

já está incluída no custo operacional do caminhão

Redução dos custos de tarifas portuárias, retroportuárias e de estivas em relação ao porto de Santos:

US\$ 16,00/t

Redução do tempo de navio no porto:

0,79 dia/embarcação

**Rodovia do Sol - Resumo dos benefícios (10<sup>3</sup> US\$)**

| ANO  | Veículos de Passeio | Ônibus | Caminhões | Custos Portuários | Espera de navios | Total   |
|------|---------------------|--------|-----------|-------------------|------------------|---------|
| 1992 | 49.745              | 4.745  | 1.716     | 10.600            | 948              | 67.736  |
| 1993 | 49.745              | 4.745  | 1.716     | 10.600            | 948              | 67.736  |
| 1994 | 49.745              | 4.745  | 1.716     | 10.600            | 948              | 67.736  |
| 1995 | 54.344              | 5.109  | 2.227     | 21.200            | 1.896            | 84.776  |
| 1996 | 54.344              | 5.109  | 2.227     | 21.200            | 1.896            | 84.776  |
| 1997 | 54.344              | 5.109  | 2.227     | 21.200            | 1.896            | 84.776  |
| 1998 | 54.344              | 5.109  | 2.227     | 21.200            | 1.896            | 84.776  |
| 1999 | 54.344              | 5.109  | 2.227     | 21.200            | 1.896            | 84.776  |
| 2000 | 62.987              | 5.780  | 2.454     | 21.200            | 1.896            | 94.317  |
| 2001 | 62.987              | 5.780  | 2.454     | 21.200            | 1.896            | 94.317  |
| 2002 | 62.987              | 5.780  | 2.454     | 21.200            | 1.896            | 94.317  |
| 2003 | 62.987              | 5.780  | 2.454     | 21.200            | 1.896            | 94.317  |
| 2004 | 62.987              | 5.780  | 2.454     | 21.200            | 1.896            | 94.317  |
| 2005 | 73.021              | 6.540  | 2.620     | 21.200            | 1.896            | 105.277 |
| 2006 | 73.021              | 6.540  | 2.620     | 21.200            | 1.896            | 105.277 |
| 2007 | 73.021              | 6.540  | 2.620     | 21.200            | 1.896            | 105.277 |
| 2008 | 73.021              | 6.540  | 2.620     | 21.200            | 1.896            | 105.277 |
| 2009 | 73.021              | 6.540  | 2.620     | 21.200            | 1.896            | 105.277 |
| 2010 | 84.657              | 7.400  | 2.858     | 21.200            | 1.896            | 118.011 |
| 2011 | 84.657              | 7.400  | 2.858     | 21.200            | 1.896            | 118.011 |
| 2012 | 84.657              | 7.400  | 2.858     | 21.200            | 1.896            | 118.011 |
| 2013 | 84.657              | 7.400  | 2.858     | 21.200            | 1.896            | 118.011 |
| 2014 | 84.657              | 7.400  | 2.858     | 21.200            | 1.896            | 118.011 |
| 2015 | 84.657              | 7.400  | 2.858     | 21.200            | 1.896            | 118.011 |
| 2016 | 84.657              | 7.400  | 2.858     | 21.200            | 1.896            | 118.011 |

Fonte: Acesso ao Litoral Norte e Porto de São Sebastião - Estudo de Viabilidade Técnico-Econômica da Rodovia do Sol

## Análise Econômica da Rodovia do Sol

| ANO  | INVESTIMENTO | CUSTO   | BENEFÍCIO  |
|------|--------------|---------|------------|
| 1989 | 41.230,00    | 0,00    | 0,00       |
| 1990 | 121.040,00   | 0,00    | 0,00       |
| 1991 | 204.250,00   | 0,00    | 0,00       |
| 1992 | 191.165,00   | 4082,00 | 67.736,00  |
| 1993 | 66.725,00    | 4082,00 | 67.736,00  |
| 1994 | 0,00         | 4082,00 | 67.736,00  |
| 1995 | 0,00         | 4082,00 | 84.776,00  |
| 1996 | 0,00         | 4082,00 | 84.776,00  |
| 1997 | 0,00         | 4082,00 | 84.776,00  |
| 1998 | 0,00         | 4082,00 | 84.776,00  |
| 1999 | 0,00         | 4082,00 | 84.776,00  |
| 2000 | 0,00         | 4082,00 | 94.317,00  |
| 2001 | 0,00         | 4082,00 | 94.317,00  |
| 2002 | 0,00         | 4082,00 | 94.317,00  |
| 2003 | 0,00         | 4082,00 | 94.317,00  |
| 2004 | 0,00         | 4082,00 | 94.317,00  |
| 2005 | 0,00         | 4082,00 | 105.277,00 |
| 2006 | 0,00         | 4082,00 | 105.277,00 |
| 2007 | 0,00         | 4082,00 | 105.277,00 |
| 2008 | 0,00         | 4082,00 | 105.277,00 |
| 2009 | 0,00         | 4082,00 | 105.277,00 |
| 2010 | 0,00         | 4082,00 | 118.011,00 |
| 2011 | 0,00         | 4082,00 | 118.011,00 |
| 2012 | 0,00         | 4082,00 | 118.011,00 |
| 2013 | 0,00         | 4082,00 | 118.011,00 |
| 2014 | 0,00         | 4082,00 | 118.011,00 |
| 2015 | 0,00         | 4082,00 | 118.011,00 |
| 2016 | 0,00         | 4082,00 | 118.011,00 |

Fonte: Acesso ao Litoral Norte e Porto de São Sebastião - Estudo de Viabilidade Técnico-Econômica da Rodovia do Sol.

Valor Presente dos Benefícios ( $i = 10\%$ ): 657.541,00

Valor Presente dos Custos: ( $i = 10\%$ ): 539.889,00

Razão Benefício-Custo ( $i = 10\%$ ): 1,22

Taxa Interna de Retorno: 12,28%



A principal crítica que se pode fazer a esta avaliação é com relação ao valor atribuído ao tempo. A grosso modo, podemos considerar que a média de ocupação dos carros de passeio corresponde a uma família. Considerar que em média uma família que viaja ao litoral ganha mensalmente US\$ 2880 (12 US\$/hora x 8h x 30dias) é irreal, mesmo para uma região rica como a de Campinas. Simplesmente esse valor corresponde ao salário nos países mais ricos do mundo. O agravante é que uma parcela considerável dos que viajam para o litoral norte tem como motivo o lazer. Mesmo nos países mais ricos do mundo considera-se que o valor do tempo de viagem que não seja a trabalho corresponde à metade do salário horário. Observe-se que aproximadamente 65% dos benefícios calculados corresponde ao tempo economizado pelos usuários de carros de passeio.

### 9.7. Método de avaliação e seleção multi-objetivos e multi-critérios

Até aqui discutimos basicamente os critérios econômicos de avaliação de projetos. Sem dúvida os aspectos econômicos são fundamentais, porque geralmente a demanda por projetos é muito maior do que os recursos disponíveis, e portanto tomadores de decisão têm obrigação moral de escolher projetos que proporcionem o máximo de benefício em relação aos recursos neles investidos. Mesmo porque ao otimizar o uso de recursos, maior número de projetos podem ser implantados com o mesmo orçamento, e conseqüentemente, no caso de projetos públicos, maior número de pessoas poderão ser beneficiadas. No entanto, as conseqüências de um projeto não se restringem aos aspectos econômicos. Tomadores de decisão devem se preocupar também com outros aspectos do projeto. Um desses aspectos é a questão da distribuição de renda. É importante que se saiba quem é que paga os custos de um projeto e quem é que se beneficia dele. É possível que benefícios ou custos sejam distribuídos desproporcionalmente a um indivíduo ou grupo. Além disso existem um grande número de aspectos tais como poluição sonora ou atmosféricas, acidentes, valorização ou desvalorização do terreno, etc., que devem ser ponderados ao escolher um projeto.

O procedimento básico do método é apresentar informações sobre os impactos das diferentes alternativas de tal maneira que todos os impactos identificados possam ser incorporados na análise. A maneira mais interessante de apresentar essas informações é sob a forma de matriz. As colunas desta matriz representam as alternativas, e as linhas da matriz, os vários impactos. Cada célula corresponde a um dado impacto causado por uma determinada alternativa. Como exemplo, a Tabela IX.6 apresenta os impactos, previstos para 1990, da implantação da Linha Paulista e da Linha Sudeste-Sudoeste. O estudo foi elaborado em 1980, com o intuito de determinar qual destas linhas deveria ser implantada em primeiro lugar.

É importante observar que o procedimento apenas apresenta informações sobre várias alternativas, mas em geral ele não conduz a melhor alternativa. A menos que uma alternativa apresente os melhores indicadores em todos os itens, a escolha da melhor alternativa é feita numa outra etapa do processo. A seleção de uma ação ou um plano alternativo a ser implementado deve considerar as conseqüências para todos os grupos afetados, e balancear os interesses de todos eles.

**Tabela IX.6**  
Matriz de Avaliação

| Indicadores   | Linha Paulista | Linha Sudeste-sudoeste |
|---|----------------|------------------------|
| Taxa de Retorno em 1990 (%)   | 10,9           | 6,5                    |
| Passageiro Transportado por ano por Cr\$ 1000 investidos  | 3.524          | 3.505                  |
| Economia de Tempo (em horas) por Cr\$ 1000 investidos   | 3,98           | 2,56                   |
| Famílias Desapropriadas (número)  | 730            | 500                    |
| Incremento na Ocupação de Áreas Livres na Reg. Metropolitana em 1990 (%)  | 8,0            | 7,5                    |
| Incremento de Área Construída na Região Metropolitana em 1990 (%)   | 33,0           | 22,0                   |
| Intensidade de Urbanização no Sentido Leste-Oeste (%)   |                |                        |
| - Ocupação de Áreas Livres em 1990 (48,3% em 1977)  | 59,6           | 59,3                   |
| - Área Construída em 1990 (19,3% em 1977)   | 35,1           | 34,7                   |
| Menor Estímulo à Ocupação e Adensamento do Centro Metropolitano   |                |                        |
| - Acréscimo na Ocupação de Áreas Livres até 1990 (%)  | 0,4            | 0,5                    |
| - Acréscimo de Área Construída até 1990 (%)   | 6,8            | 10,4                   |
| Maior Estímulo à Ocupação e Adensamento da Zona Consolidada   |                |                        |
| - Acréscimo na Ocupação de Áreas Livres até 1990 (%)  | 11,2           | 10,4                   |
| - Acréscimo de Área Construída até 1990 (%)   | 18,1           | 16,8                   |
| Redução no Consumo de Combustível por Ônibus (%)  | 3,0            | 4,0                    |
| Economia de Tempo para População com Renda Média Mensal Familiar Inferior à 5 Salários Mínimos (milhões de horas/ano) | 121            | 84                     |
| Incremento no Valor Real dos Terrenos (Cr\$ milhões)  | 16.710         | 16.380                 |
| Redução de Poluentes (%)  | 2,8            | 3,9                    |

Fonte: Terceira Linha do Metrô de São Paulo - Estudo de Viabilidade Técnico-Econômico-Financeira, 1980.

Existem muitas maneiras de organizar essas informações. Um procedimento muito comum é definir um certo número de objetivos específicos que um plano deve tentar atingir. Por exemplo, um objetivo poderia ser a minimização do tempo de viagem dos usuários; outro, minimização do custo total ao usuário; e o terceiro, minimização da área desapropriada; etc. Um procedimento alternativo é organizar as informações em torno de sub-regiões da área em que um projeto está sendo cogitado. Tais sub-regiões poderiam ser municípios, ou outra divisão qualquer. A organização das informações, bem como a definição de objetivos e critérios varia muito de caso para caso.

A Região Metropolitana de São Paulo, por exemplo, já tem um estudo sugerindo critérios para avaliação de projetos de transporte. Esse estudo foi contratado pelo corpo deliberativo da Câmara Metropolitana de Transporte, em 1985, e consta do relatório "Análise de Metodologias de Avaliação de Projetos de Transportes Urbanos na Região Metropolitana de São Paulo - Minuta R/2". O relatório apresenta dois quadros de avaliação: a) Por categoria, isto é, adotando critérios econômicos, critérios sociais, critérios urbanísticos, etc.; e b) Por grupos de interesses afetados pelo projeto.

Com relação aos grupos afetados pelo projeto, o relatório sugere a seguinte divisão:

- Usuários (pessoas que utilizam o sistema de transporte)

- Lindeiros (proprietários ou moradores na faixa diretamente afetada pelo projeto)
- Empresas operadoras (CBTU, Metrô, FEPASA, CMTTC e empresas particulares)
- Comunidade (habitantes da região como um todo)
- Governo (complexo político administrativo que tem interesses próprios)

| Grupos, Critério e Indicadores                            | un. | Projeto A<br>valor absoluto | Projeto B<br>valor absoluto | Nota do Critério<br>(0 - 5) |   |
|---|-----|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|---|
|   |     |                             |                             | A                           | B |
| <b>Usuários</b>   |     |                             |                             |                             |   |
| <b>I - critério - Reduzir o tempo de deslocamento</b>     |     |                             |                             |                             |   |
| 1. tempo total de viagem                                  |     |                             |                             |                             |   |
| 2. tempo de acesso a pé                                   |     |                             |                             |                             |   |
| 3. tempo de espera  |     |                             |                             |                             |   |
| 4. tempo de viagem no veículo                             |     |                             |                             |                             |   |
| 5. grau de cobertura geográfica da rede                   |     |                             |                             |                             |   |
| 6. índice de transferência                                |     |                             |                             |                             |   |
| <b>II - critério - Aumentar a acessibilidade</b>          |     |                             |                             |                             |   |
| 7. grau de acessibilidade a emprego                       |     |                             |                             |                             |   |
| 8. grau de acessibilidade da população residente          |     |                             |                             |                             |   |
| 9. grau de acessibilidade a equipamento metropolitano     |     |                             |                             |                             |   |
| 10. indicadores de acessibilidade em valores monetários   |     |                             |                             |                             |   |
| <b>III - critério - Melhorar o nível de serviço</b>       |     |                             |                             |                             |   |
| 11. grau de congestionamento da rede                      |     |                             |                             |                             |   |
| 12. características dos veículos                          |     |                             |                             |                             |   |
| 13. condições das estações, terminais e pontos de paradas |     |                             |                             |                             |   |
| 14. comodidade de uso do sistema                          |     |                             |                             |                             |   |
| 15. grau de lotação dos veículos                          |     |                             |                             |                             |   |
| 16. regularidade de passagens                             |     |                             |                             |                             |   |
| 17. regularidade do tempo de viagem                       |     |                             |                             |                             |   |
| 18. velocidade  |     |                             |                             |                             |   |
| <b>IV - critério - Aumentar a segurança</b>               |     |                             |                             |                             |   |
| 19. número de vítimas fatais/veículo                      |     |                             |                             |                             |   |
| 20. número de acidentes/veic.km                           |     |                             |                             |                             |   |
| <b>V - critério - Diminuir os gastos dos usuários</b>     |     |                             |                             |                             |   |
| 21. gastos médios totais mensais por zona                 |     |                             |                             |                             |   |
| 22. gastos médios dos usuários de carro                   |     |                             |                             |                             |   |
| 23. gastos médios dos usuários dos transportes coletivos  |     |                             |                             |                             |   |
| <b>Lindeiros</b>  |     |                             |                             |                             |   |
| <b>VI - critério - Reduzir o impacto ambiental</b>        |     |                             |                             |                             |   |
| 24. redução ou aumento das áreas verdes                   |     |                             |                             |                             |   |
| 25. redução ou aumento da vegetação                       |     |                             |                             |                             |   |
| 26. redução ou aumento percentual de áreas verdes         |     |                             |                             |                             |   |
| 27. redução ou aumento percentual de vegetação            |     |                             |                             |                             |   |
| 28. redução ou aumento da poluição atmosférica            |     |                             |                             |                             |   |
| 29. redução ou aumento da intensidade de ruído            |     |                             |                             |                             |   |
| <b>VII - critério - Reduzir o impacto econômico</b>       |     |                             |                             |                             |   |
| 30. número de estabelecimentos comerciais afetados        |     |                             |                             |                             |   |
| 31. alteração de preços de terrenos                       |     |                             |                             |                             |   |
| 32. alteração da renda dos imóveis                        |     |                             |                             |                             |   |

|  |  |  |  |  |  |
|--|--|--|--|--|--|
| VIII - critério - Reduzir os impactos sociais negativos  |  |  |  |  |  |
| 33. número de domicílios desapropriados  |  |  |  |  |  |
| 34. número de estabelecimentos desapropriados  |  |  |  |  |  |
| 35. redução do acesso a equipamentos urbanos   |  |  |  |  |  |
| 36. expulsão da população de baixa renda   |  |  |  |  |  |
| Operadores   |  |  |  |  |  |
| IX - critério - Equilibrar o resultado financeiro  |  |  |  |  |  |
| 37. relação receitas operacionais / despesas operacionais                                      |  |  |  |  |  |
| 38. custo operacional por passageiro transportado  |  |  |  |  |  |
| X - critério - Ampliar sua participação no mercado   |  |  |  |  |  |
| 39. percentual dos passageiros transportados por empresas                                      |  |  |  |  |  |
| XI - critério - Melhorar sua imagem pública  |  |  |  |  |  |
| 40. resposta do projeto às reivindicações da comunidade  |  |  |  |  |  |
| XII - critério - Reduzir o impacto sobre o meio urbano   |  |  |  |  |  |
| 41. grau de intrusão visual  |  |  |  |  |  |
| 42. impacto visual sobre áreas de preservação histórica, etc                                   |  |  |  |  |  |
| 43. interferência ambiental sobre idem   |  |  |  |  |  |
| 44. efeito do projeto sobre a capacidade de drenagem da área                                   |  |  |  |  |  |
| XIII - critério - Minimizar o uso de recursos tributários locais                               |  |  |  |  |  |
| 45. participação de recursos federais no projeto   |  |  |  |  |  |
| 46. grau de comprometimento dos recursos municipais  |  |  |  |  |  |
| 47. grau de auto financiamento dos projetos  |  |  |  |  |  |
| XIV - critério - Aumentar o grau de participação comunitária                                   |  |  |  |  |  |
| 48. no. de entidades e comunidades envolvidas no projeto                                       |  |  |  |  |  |
| 49. número de consultas feitas à comunidade  |  |  |  |  |  |
| 50. grau de aprovação do projeto pela comunidade   |  |  |  |  |  |
| Governo  |  |  |  |  |  |
| XV - critério - Eficiência econômica dos investimentos   |  |  |  |  |  |
| 51. taxa de retorno do primeiro ano  |  |  |  |  |  |
| 52. redução ou aumento dos subsídios   |  |  |  |  |  |
| 53. investimento/lugar.km oferecido  |  |  |  |  |  |
| XVI - critério - Coerência com as diretrizes do planej. urbano                                 |  |  |  |  |  |
| 54. coerência com as diretrizes urbanísticas gerais  |  |  |  |  |  |
| 55. coerência com as diretrizes urbanísticas locais  |  |  |  |  |  |
| XVII - critério - Coerência com as diretrizes de transporte                                    |  |  |  |  |  |
| 56. ampliação do uso de transporte coletivo  |  |  |  |  |  |
| XVIII - critério - Coerência com as diretrizes econômicas                                      |  |  |  |  |  |
| 57. ampliação do emprego   |  |  |  |  |  |
| 58. índice de nacionalização da tecnologia   |  |  |  |  |  |
| 59. redução no consumo de derivados de petróleo  |  |  |  |  |  |
| XIX - critério - Coerência com as diretrizes sociais   |  |  |  |  |  |
| 60. participação da população de baixa renda ( até 5 SM) na área de influência do projeto      |  |  |  |  |  |
| 61. participação nos benefícios advindos do projeto para a população de baixa renda (até 5 SM) |  |  |  |  |  |

Com relação ao processo de seleção de alternativa, ele pode ser formalizado e explicitado se forem definidos os pesos dos atributos (as duas últimas colunas da tabela acima). Infelizmente o peso de cada atributo ou objetivo é definido arbitrariamente, isto é, na maioria das vezes o peso é definido politicamente. É que pessoas com diferentes pontos de vista ou convicções têm

diferentes preferências entre objetivos. Por exemplo, um representante do governo local provavelmente ponderaria com maior peso os objetivos que beneficiam a sua região, ao contrário de um representante do governo central que estaria muito mais preocupado com benefícios para a nação como um todo.

Dois enfoques muito usados na obtenção dos pesos apropriados para a seleção de projeto estão abaixo apresentados:

- 1) Tomadores de decisão definem de antemão os pesos dos objetivos. Todavia, geralmente tomadores de decisão relutam em definir os pesos na ausência de projetos alternativos.
- 2) Enfoque baseado na técnica de Delphos. Existe uma grande variedade de maneira como essa técnica pode ser aplicada. Uma delas consiste em, inicialmente, obter dos tomadores de decisão o primeiro conjunto de preferências. Em seguida, calculam-se os pesos médios para os atributos, com os quais determina-se a melhor alternativa. Faz-se também uma análise de sensibilidade que indica os limites de variação do peso de cada atributo. Repassa-se a cada tomador de decisão as seguintes informações: os limites de variação dos pesos, as conseqüências da melhor alternativa conjunta e da melhor alternativa segundo pesos atribuídos por ele (não se informa a um os resultados de outros). Feito isso, quem desejar pode modificar os pesos. Caso alguém resolva alterar os pesos, recalcula-se os pesos médios, e repete-se o processo, até se chegar a um consenso. O principal objetivo desta técnica é informar os tomadores de decisão sobre as conseqüências de suas preferências, bem como para ajudar a chegar num consenso dentro do grupo de tomadores de decisão que podem ter preferências significativamente diferentes.

## Exercícios

**9.1.** Antes da duplicação da Rodovia Washington Luiz, a prefeitura municipal de São Carlos havia solicitado à Secretaria dos Transportes do Estado de São Paulo, que a rodovia tivesse outro traçado na proximidade da cidade. Ou seja, São Carlos queria que, na proximidade da cidade, a estrada fosse um pouco afastada da cidade, pois isso permitiria utilizar o trecho remanescente como uma grande avenida e aceleraria a expansão da cidade para o lado norte, além da rodovia. Pense numa alternativa em que a rodovia é deslocada para o outro lado da cidade (sul). Enumere os custos e benefícios dessa modificação, adotando os seguintes pontos de vista: moradores da cidade de São Carlos, prefeitura municipal de São Carlos, Governo do Estado de São Paulo e usuários em geral da Rodovia Washington Luiz. Suponha que a prefeitura esteja disposta a pagar pelo trecho que passaria a ser municipal. Para se ter uma idéia sobre as configurações geográficas da região consulte um mapa do IBGE (escala 1:50.000).

**9.2.** O tráfego numa rodovia que pode ser reconstruída adotando-se uma velocidade de projeto maior cresce a uma taxa de 10% ao ano, e espera-se que esse crescimento vá ocorrer independentemente da reconstrução. O custo de manutenção da rodovia existente, de 9 km de extensão, é de US\$ 56.000,00/ano, e o custo médio ao usuário (incluindo o tempo de viagem) é de US\$ 0,17/veic.km. A reconstrução custará US\$ 3.600.000,00, divididos igualmente em três anos de construção. O custo médio de manutenção dos 7,5 km da rodovia reconstruída está estimado em US\$ 0,14/veic.km. O tráfego atual é de 12.000 veic/dia, contando os fluxos em ambas as direções. Determine, com base no método do VPL, se economicamente é interessante reconstruir ou não. Adote a taxa de desconto de 10% ao ano. Considere um período de análise de 20 anos.

---

**9.3.** Qual seria o efeito sobre a conclusão do problema 9.2 de uma redução da taxa de desconto para 6% ao ano? E se a taxa de crescimento do tráfego fosse de 8% ao invés de 10% (considerando a taxa de desconto de 10%)?

---

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

- Adler, Hans A. **Avaliação Econômica dos Projetos de Transportes: Metodologia e Exemplos**. Livros Técnicos e Científicos Editora. Rio de Janeiro, RJ, 1978, 171p.
- Aashto-American Association of State Highway and Transportation Officials. **Manual on User Benefit Analysis**. Washington, D.C, 1977, 189p.
- Anas, Alex. Discrete choice theory, information theory and the multinomial logit and gravity models. **Transportation Research**, 17B (1): 13-23, 1983.
- ANTP-Associação Nacional de Transporte Público, Comissão de economia de Transportes da. Subsídio ao transporte coletivo nas metrópoles. **Revista dos Transportes Públicos**. Vol.2(7):67-101.
- Bowlby, W.; Wayson, R.L.; Stammer JR., R.E. Predicting Stop-and-go Traffic Noise Levels. **National Cooperative Highway Research Program Report 311**. Ed. TRB-Transportation Research Board. Washington, D.C., USA, 1989, 97p.
- Cohn, Louis F.; Mcvovoy, Gary R. **Environmental Analysis of Transportation Systems**. Ed. John Wiley & Sons. New York, USA, 1982, 374p.
- DENATRAN - Departamento Nacional de Trânsito. **Tráfego e Meio Ambiente**. Ed. COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro,RJ, 1980, 366p.
- Dickey, John W.; Miller, Leon H. **Road Project Appraisal for Developing Countries**. Ed. John Wiley & Sons. New York, 1984, 279pp.
- Domencich, Thomas; McFadden, Daniel. **Urban Travel Demand**. North-Holand/American Elsevier, New York, 1975.

- FINEP-Financiadora de Estudos e Projetos. Comissão SEPLAN/ENERGIA. **Aspectos Metodológicos para Implantação do Tróleibus em Corredores Urbanos**. São Paulo, SP, 1983, 393pp.
- FERRONORTE S.A. **Estudo de Sistema Ferroviário Privado para o Centro-Oeste: Avaliação Global do Empreendimento**. 1988, 168pp.
- Gonçalves, Fernando A. R. **A Tarifação do Transporte Coletivo de Passageiros por Ônibus na Região Metropolitana da Grande São Paulo**. Dissertação de mestrado. EESC-USP, São Carlos, SP, 1979, 108 pp.
- Fratar, T.J. Forecasting the Distribution of Interzonal Vehicular Trips by Successive Approximation. Proceedings of the 33rd Annual Meeting of Highway Research Board, National Research Council, Washington D.C., 1954.
- Hothersall, David C; Salter, Richard J. **Transport and Environment**. Ed. William Clowes & Sons Limited. London, 1977, 287pp.
- INPE-Instituto de Pesquisas Espaciais. **Engenharia de Sistemas: Planejamento e Controle de Projetos**. Ed. Vozes. Petrópolis, RJ, 1972, 307pp.
- Jacob, Chafic. **Ferrovias: O Caminho Certo**. E. Imprensa Oficial do Estado. São Paulo, SP, 1982, 265pp.
- Kanafani, Adib. **Transportation Demand Analysis**. Ed. McGraw-Hill Series in Transportation. New York, U.S.A., 1983, 320pp.
- Kanafani, Adib; SPERLING, Daniel. **National Transportation Planning**. Ed. Martinus Nijhoff Publishers. London, 1982, 115pp.
- Kawamoto, Eiji. **Custo e Nível de Serviço no Transporte Público de Passageiros por Ônibus**. Dissertação de mestrado. EESC-USP, São Carlos, SP, 1984. 101pp.
- Lima, Iêda M.O. **Plano de Transporte: Um Mecanismo de Avaliação**. Texto para discussão, No. 239, 17pp. IPEA, 1991.
- METRÔ-Companhia do Metropolitano de São Paulo. **Estudos Sócio-Econômicos, de Tráfego e de Viabilidade Econômico-Financeira**. São Paulo, SP, 1968, 247pp.
- METRÔ-Companhia do Metropolitano de São Paulo; EMTU/SP-Empresa Metropolitana de Transportes Urbanos S/A. **Terceira Linha do Metrô de São Paulo: Estudo de Viabilidade Técnico-Econômico Financeira**. São Paulo, SP, 1980, 193pp.
- METRÔ-Companhia do Metropolitano de São Paulo. **Análise e Revisão das Metodologias de Avaliação de Projetos de Transporte Urbanos na Região Metropolitana de São Paulo**. São Paulo, SP, s.d., 161pp.
- METRÔ-Companhia do Metropolitano de São Paulo. **Pesquisa OD/87**. São Paulo, SP, 1980, 79pp.
- Morlock, Edward, K. **Introduction to Transportation Engineering and Planning**. Ed. McGraw-Hill do Brasil. São Paulo, SP, 1978, 764p.



- MT-GEIPOT-EBTU. **Instruções Práticas para Cálculo de Tarifas de Ônibus Urbanos.** Brasília, 1982.
- Novaes, Antonio Galvão. **Sistemas de Transportes. Vol. 1: Análise de Demanda.** Ed. Edgard Blucher Ltda. São Paulo, SP, 1986, 151p.
- NTC-Associação Nacional das Empresas de Transportes Rodoviários de Carga. **Manual do Sistema Tarifário.** São Paulo, SP, 1986, 97p.
- Oliveira, José Alberto Nascimento de. **Engenharia Econômica: Uma Abordagem às Decisões de Investimentos.** Ed. McGraw-Hill do Brasil. São Paulo, SP, 1982.
- Papacostas, C.S. **Fundamentals of Transportation Engineering.** Prentice-Hall Inc. New Jersey, 1987, 458pp.
- Pecknold, W.M; Wilson, N.H.M; Kullman, B. **An Empirical Demand Model for Evaluating Local Bus Service Modifications.** Department of Civil Engineering, MIT, 1972.
- Pomeranz, Lenina. **Elaboração e Análise de Projetos.** Ed. Hucitec, 2ª. ed., São Paulo, SP, 1988, 243p.
- Quast, Theodore. The Output Unit in Transportation. **Transportation Journal.** 10 (2). 1970.
- RFFSA. **Metodologia do CDT - Custo de Transportes - Versão 3.0.** 1992, 19pp.
- Simonsen, Mário H. **Teoria Microeconômica. Vol.1, 2a. ed.** Fundação Getúlio Vargas. Rio de Janeiro, 1973.
- SMA-Secretaria do Meio Ambiente. **Meio Ambiente e Transporte Urbano; Síntese do Seminário sobre Meio Ambiente e Transporte Urbano.** São Paulo, SP, 1989, 192p.
- THEMAG. **Acesso ao Litoral Norte e Porto de São Sebastião - Estudo de Viabilidade Técnico-Econômica da Rodovia do Sol.** São Paulo,SP, 1989.
- VALEC. **Estudo da viabilidade econômica da Ferrovia Norte-Sul.**
- Wilson, A.G. A Statistical Theory of Spatial Distribution Models. **Transportation Research, Vol 1, p.253-269, 1967.**