

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS  
DEPARTAMENTO DE VIAS DE TRANSPORTE E TOPOGRAFIA - STT

STT-135 TRANSPORTES II

NOTAS DE AULA

VOLUME I

TRANSPORTE E SOCIEDADE

CUSTOS EM TRANSPORTES



PROF. JOÃO ALEXANDRE WIDMER

- SÃO CARLOS/1981 -

INDICE

pag.

1. Introdução . . . . .	1
2. Transporte e Sociedade . . . . .	3
2.1. Função Sócio Econômica dos Transportes . . . . .	4
2.2. Função Política dos Transportes . . . . .	7
2.3. Impactos Ambientais . . . . .	7
3. Custos de Transporte . . . . .	9
3.1. Conceitos de Custo . . . . .	10
3.2. Medidas de Custo em Transportes . . . . .	20
3.3. Métodos de Estimativa de Custo . . . . .	21
3.3.1. Modelos Estatísticos . . . . .	21
3.3.2. Modelos de Engenharia de Custo Unitário . . . . .	25
3.3.3. Modelos Padronizados de Custo . . . . .	29
BIBLIOGRAFIA . . . . .	30

## 1. Introdução

Transporte é parte integrante do funcionamento da sociedade. Da necessidade de alimentação, trabalho e lazer do homem decorre a necessidade do deslocamento de pessoas e carga entre pontos.

É comum a hipótese de que o desenvolvimento da tecnologia de transporte de pessoas e carga causa o desenvolvimento social. Muitas vezes pode entretanto ocorrer o inverso, ou seja, o desenvolvimento social criar a necessidade de desenvolvimento de novas tecnologias de transporte. De uma ou outra forma transporte e desenvolvimento social estão intimamente relacionados.

A evolução da área de planejamento de transportes é relativamente recente (20-30 anos) e decorreu do reconhecimento de que os transportes não só tem um importante efeito multiplicador na economia, como seu crescimento e complexidade dos sistemas, tem requerido vultosos investimentos públicos. Esses investimentos requerem portanto um planejamento cuidadoso para maximizar a eficiência da aplicação de recursos.

Assim é que engenheiros, economistas, arquitetos e sociólogos tem participado ativamente em grupos multidisciplinares de estudos de problemas de transporte, adaptando ao planejamento dos transportes técnicas da economia e da análise de sistemas.

No Brasil também a área teve crescimento acentuado nas últimas duas décadas, motivado de um lado pelo violento crescimento das aglomerações urbanas, e de outro pela necessidade de se exportar matérias primas, produtos agrícolas e manufaturados oriundos do interior do país.

Órgãos Envolvidos em Planejamento de Transportes.

	RODOVIÁ- RIO	FERROVIÁ- RIO	HIDROVIÁ- RIO	AÉREO	DUTOVIÁ- RIO
Federal	GEIPOT EBTU DNER	GEIPOT CVDR RFFSA AMSA	GEIPOT PORTOBRÁS AMSA	GEIPOT DAC	GEIPOT
Estadual São Paulo	DER -SP	FEPASA COSIPA	DH -SP	DAESP	COSIPA
Local	CET - São Paulo				

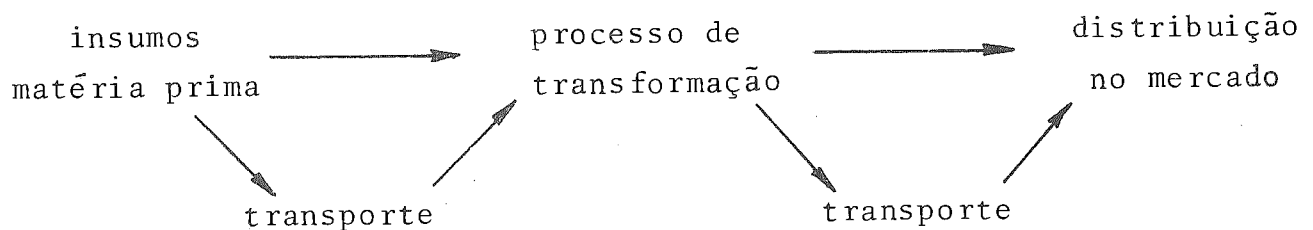
## 2. Transporte e Sociedade.

### 2.1. Função Sócio Econômica dos Transportes.

A sociedade de uma forma geral está baseada numa economia de trocas.

São raros os grupos sociais totalmente autônomos em termos de produção-consumo, e mesmo estes requerem internamente certos tipos de transporte, ainda que rudimentar, para satisfazer suas necessidades básicas de sobrevivência e lazer.

Pode-se exemplificar a necessidade de transporte através do seguinte esquema:



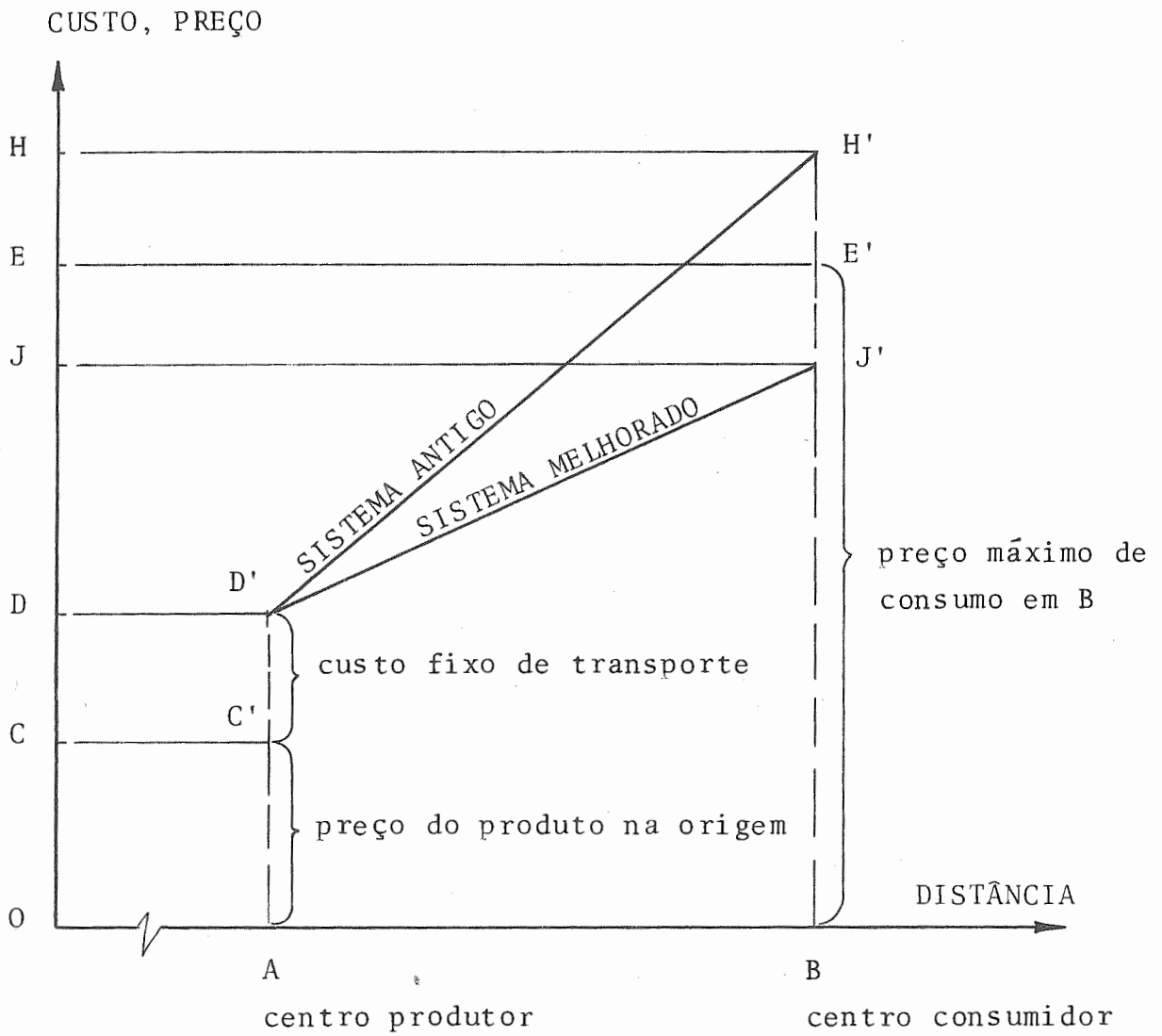
A demanda de transportes, é portanto uma demanda derivada, ou seja, depende da demanda da mercadoria transportada, que por sua vez é função não só do preço do produto em si, mas sim do preço do produto colocado no mercado de consumo.

O volume de mercadorias transportadas e a modalidade utilizada estão intimamente ligados ao conceito de utilidade de um produto para o seu consumidor.

Pode-se dizer que uma mercadoria tem uma utilidade local tempo e qualidade.

O modelo da figura 2.1 serve para ilustrar os conceitos.

Figura 2.1 - UTILIDADE LOCAL



UTILIDADE TEMPO

1. Produtos são consumidos em determinadas épocas.
2. Frequência de fornecimento x estoques.
3. Transporte de produtos perecíveis ou deterioráveis.

UTILIDADE QUALIDADE

1. Danificação do produto.

É difícil separar a função social da função econômica, - particularmente quando se trata de transporte de pessoas.

Todo o processo de transporte de pessoas, resultante da necessidade e do desejo de interações entre indivíduos, tem além de uma função econômica, uma função eminentemente social, pois o sistema de transporte de pessoas tem profundo reflexo sobre as características dos conglomerados urbanos e portanto sobre a qualidade de vida do homem.

O próprio desenvolvimento das cidades justifica-se pelo fato de que a maior proximidade proporciona um rebaixamento do custo de comunicação.

Para conceituar a noção de interações ou conectividade entre indivíduos e organizações consideremos dois espaços geográficos A e B onde:

A = zona de habitação.

B = centro de atividades (área industrial ou área comercial).

O par dos espaços A e B pode ser caracterizado por:

- características sócio-econômicas dos indivíduos e organizações.
- a qualidade do serviço oferecida pelo sistema de transporte que conecta os espaços.

O problema que se coloca é como aumentar o potencial de interações entre A e B.

Apesar de o problema parecer simples, as alternativas de solução são numerosas e fortemente influenciadas por fatores exógenos ao sistema considerando.

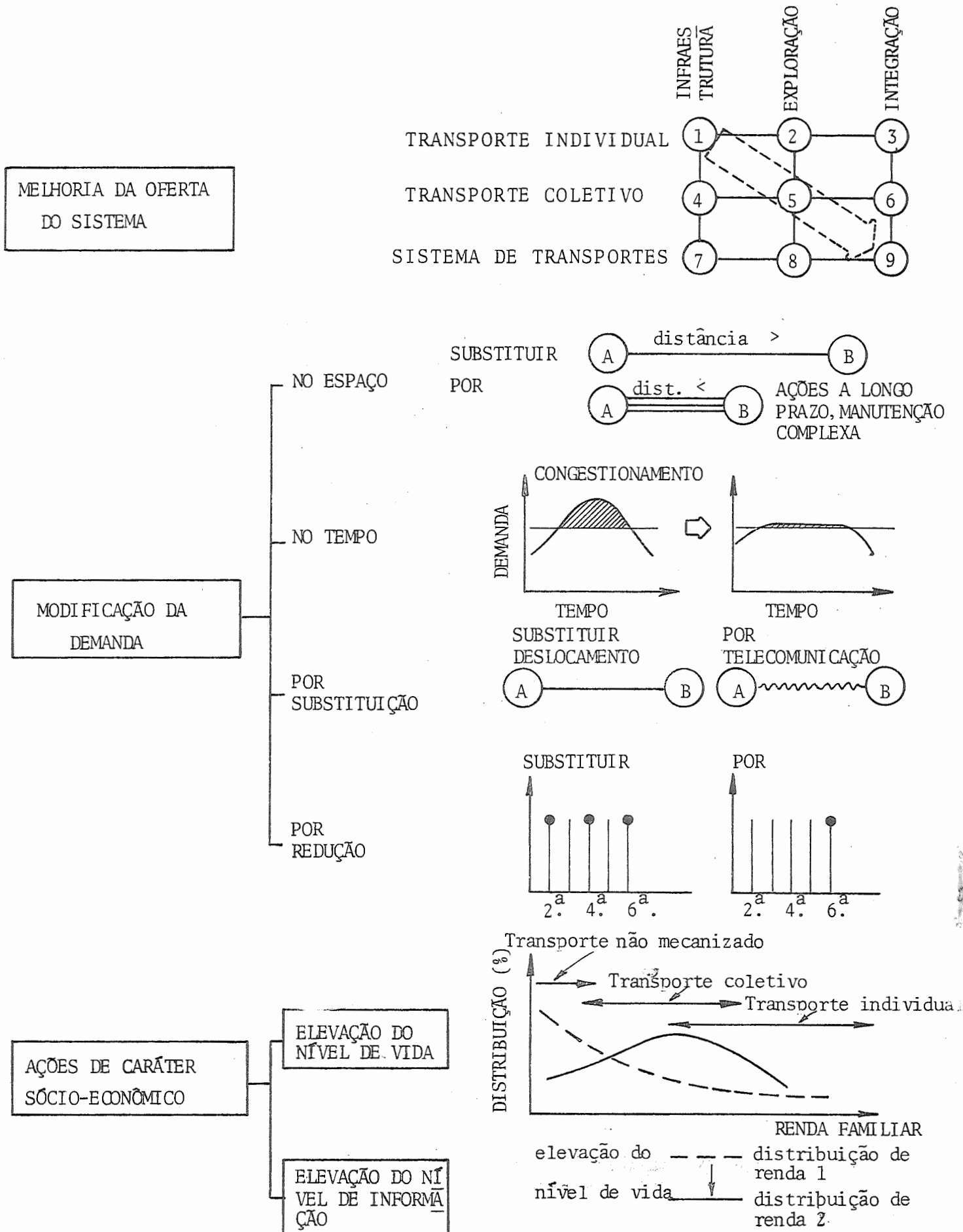
As ações que podem ser consideradas são:

- Melhorias na oferta do sistema.
- Modificações sobre a demanda de transportes:
  - no espaço.
  - no tempo.
  - por substituição de deslocamento por telecomunicações.
  - por redução ou supressão do desejo/necessidade.

- Ações de caráter sócio-econômico.

A figura 2.2 procura ilustrar essas ações.

Figura 2.2 - Formas de Melhorar a Conectividade





## 2.2. Função Política dos Transportes.

Muitos sistemas de transportes, em particular aqueles que são implantados em regiões pouco desenvolvidas economicamente, justificam-se inicialmente, por razões políticas.

A conquista e integração de uma região é tipicamente uma função política dos transportes que numa fase secundária, conduz em geral, ao desenvolvimento sócio-econômico dessa região.

(Exemplos: Estrada de Ferro Noroeste, Estrada de Ferro Madeira-Mamoré, Transamazônica, Belém-Brasília).

Vias de transporte implantadas com o objetivo de defesa nacional também podem ser incluídas na função política dos transportes.

## 2.3. Impactos Ambientais.

Cada vez mais os povos tomam consciência que em paralelo - aos benefícios do desenvolvimento dos sistemas de transporte para o homem, foram gerados uma série de sub-produtos que afetam adversamente a qualidade de vida.

Esses impactos sobre o meio ambiente em que vivemos devem ser necessariamente considerados em qualquer projeto ou avaliação - de sistemas de transporte.

Como exemplos típicos de sub-produtos pode-se citar:

- Poluição atmosférica - gerada pela emissão de gases e partículas dos motores de combustão interna.
- Poluição sonora - gerada por ruído de motores, ruído de rolamento (caminhões, trens), e ruído aerodinâmico.
- Poluição das águas - gerada principalmente em acidentes de grandes petroleiros, mas também pela emissão - de esgotos e detritos de embarcações tanto no mar como em hidrovias interiores.

- Consumo energético - os sistemas de transporte são responsáveis - por um elevado consumo dos recursos energéticos renováveis e não renováveis em nosso planeta, e com as perspectivas de utilização da biomassa como combustível, deverão concorrer também para uma redução das áreas agrícolas utilizadas para a alimentação do homem.
  
- Segurança
  - o corpo humano não foi projetado para locomover-se a velocidades superiores que a de um homem correndo. Como a maioria dos sistemas de transporte de pessoas excede essa velocidade existe a eles associado um fator de risco que deve necessariamente ser considerado no desenvolvimento dos sistemas. Também o risco de choque de veículos com pedestres é um ponto importante a ser considerado.
  
- Estética
  - apesar de os conceitos de bonito/feio, agradável/desagradável serem muito vagos e muito variáveis de pessoa para pessoa, é possível dentro de uma sociedade estabelecer certos padrões de comparação no sentido de preservar a beleza natural. Muitos sistemas de transporte implantados pelo homem destroem ou desfiguram completamente a natureza, muitas vezes pelo simples fato de que o aspecto estético não merece a menor consideração por parte dos planejadores e/ou dos órgãos de decisão.

### 3. Custo de Transporte.

#### 3.1. Conceitos de custo.

- Custos para quem?
- Custos fixos e custos variáveis.
- Custo médio e custo marginal.
- Custo direto e custo indireto.
- Externalidades.
- Custos conjuntos.
- Custos indivisíveis.
- Custos futuros e valor presente.
- Custo de oportunidade.

#### 3.2. Medidas de custo em transporte.

- Custos unitários para o transportador.
- Valor desembolsado "out of pocket cost".
- Custo generalizado (tempo, segurança, poluição).
- Custo social.

#### 3.3. Métodos de estimativa de custos.

- Modelos estatísticos de custo.
- Modelos de engenharia de custo unitário.
- Modelos padronizados de custo.

### 3. Custo de Transporte.

#### 3.1. Conceitos de custo.

Apesar de os conceitos de custo serem bastante difundidos em nossa sociedade, o seu uso inadequado leva muitas vezes a interpretações confusas e ambíguas.

Estabelecer-se-ã portanto a priori uma série de conceitos de forma a evitar o seu emprego inadequado.

- Custos para quem?

A simplicidade com que o termo custos é em geral empregado, faz com que aparentemente existe um único custo associado a realização de um serviço ou fornecimento de um bem.

É verdade que é possível estabelecer, em princípio, um único custo que seria o custo social para um bem ou serviço como o transporte, mas o termo é também utilizado com referência ao custo percebido por um indivíduo, um grupo ou uma empresa, e pode portanto ser bastante diferente do custo total para a sociedade.

Exemplo:

1) viagem residência trabalho utilizando transporte público.

indivíduo que viaja: custo da passagem, tempo consumido.

operador dos sistema de transporte: custos operacionais, depreciação de veículos, custo de implantação e manutenção da via.

governo: parte dos custos do operador subsidiados.

pessoas morando próximo aos vias: ruído, poluição atmosférica, poluição visual.

TABELA 3.1. - PERCEPÇÃO DE CUSTOS DE TRANSPORTE POR DIVERSOS GRUPOS.

USUÁRIOS	<ul style="list-style-type: none"> <li>- preços diretos (passagens, pedágios, etc)</li> <li>- tempo consumido</li> <li>- desconforto dos usuários.</li> <li>- perda e danificação de cargas.</li> </ul>
OPERADOR DO SISTEMA	<ul style="list-style-type: none"> <li>- custos de construção, operação e manutenção.</li> </ul>
NÃO USUÁRIO	<ul style="list-style-type: none"> <li>- variações no valor da terra.</li> <li>- degradação do meio ambiente (ruído, poluição atmosférica e visual).</li> </ul>
GOVERNO	<ul style="list-style-type: none"> <li>- subsídios, investimentos de capital.</li> </ul>

Outro aspecto importante relativo a custos é que muitos dos custos apresentados acima não estão associados a preços de bens trocados no mercado. Apesar de muitos desses custos serem bastante evidentes, como tempo de viagem, em geral o viajante não é ressarcido (ou não lhe é cobrado) pelo tempo consumido na viagem.

O exemplo apresentado mostra também claramente que os preços pagos por serviços de transporte não refletem necessariamente os custos associados a oferta do serviço. (e.g. Metrô de São Paulo). É possível que não exista relação alguma entre o preço pago, ou a receita obtida pelo serviço de transporte, e os custos monetários diretos associados a sua operação.

É portanto necessário estabelecer uma clara distinção entre o termo custos e o termo preço.

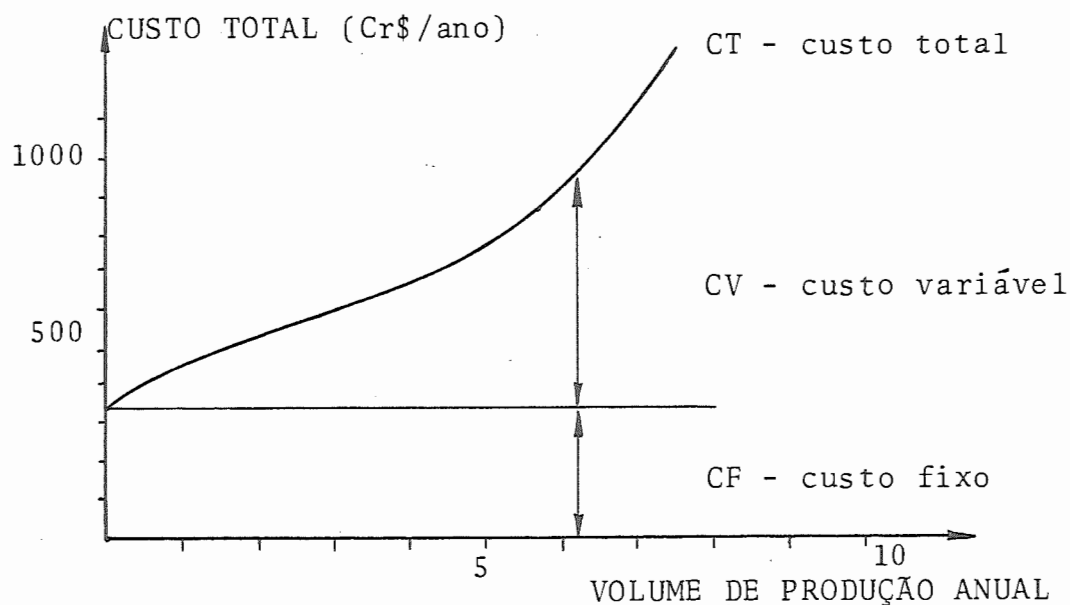
- Custos fixos e custos variáveis.

Fundamental a qualquer discussão sobre custos é a curva de custo total versus volume de produção.

Para um sistema de transportes esse volume de produção pode ser expresso por: ton/ano, ton x km/ano, ton x km/viagem ou outra unidade de volume de produção representativa do sistema analisado.

A figura 3.1. representa uma curva de custo total versus volume de produção generalizada.

Figura 3.1. - Curva de Custo Total versus Volume de Produção.



Como o próprio nome define, custos fixos são aqueles que são independentes do volume de produção (exemplos: 1- para uma companhia de transporte rodoviário com uma frota fixa, pode-se considerar como custo fixo anual, a depreciação dos veículos, salários dos motoristas, taxas de licenciamento, custos administrativos; 2- para um determinado intervalo de volume de tráfego, o investimento em infraestrutura é um custo fixo).

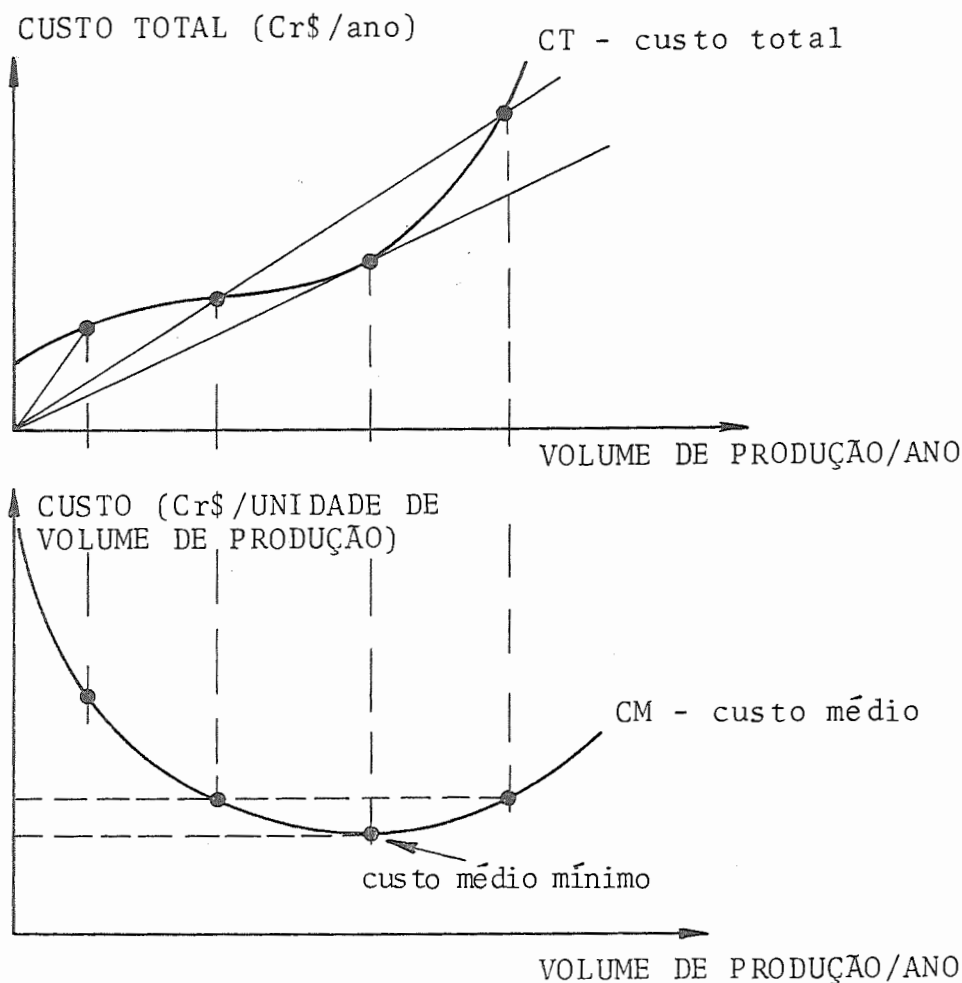
Custos variáveis são portanto aqueles que variam em função do volume de produção (exemplos: gastos de combustível, alguns itens de manutenção, investimentos em veículos quando o volume de produção está diretamente ligado a sua quantidade, salários quando são função do volume de produção).

- Custo Médio e Custo Marginal.

Custo médio e custo marginal são formas alternativas importantes de representação da curva de custo total versus volume de produção.

A curva de custo médio representa o custo total por unidade de volume produzido, versus o volume de produção. Para a curva de custo total da figura 3.1 teríamos qualitativamente:

Figura 3.2. Derivação da Curva de Custo Médio.

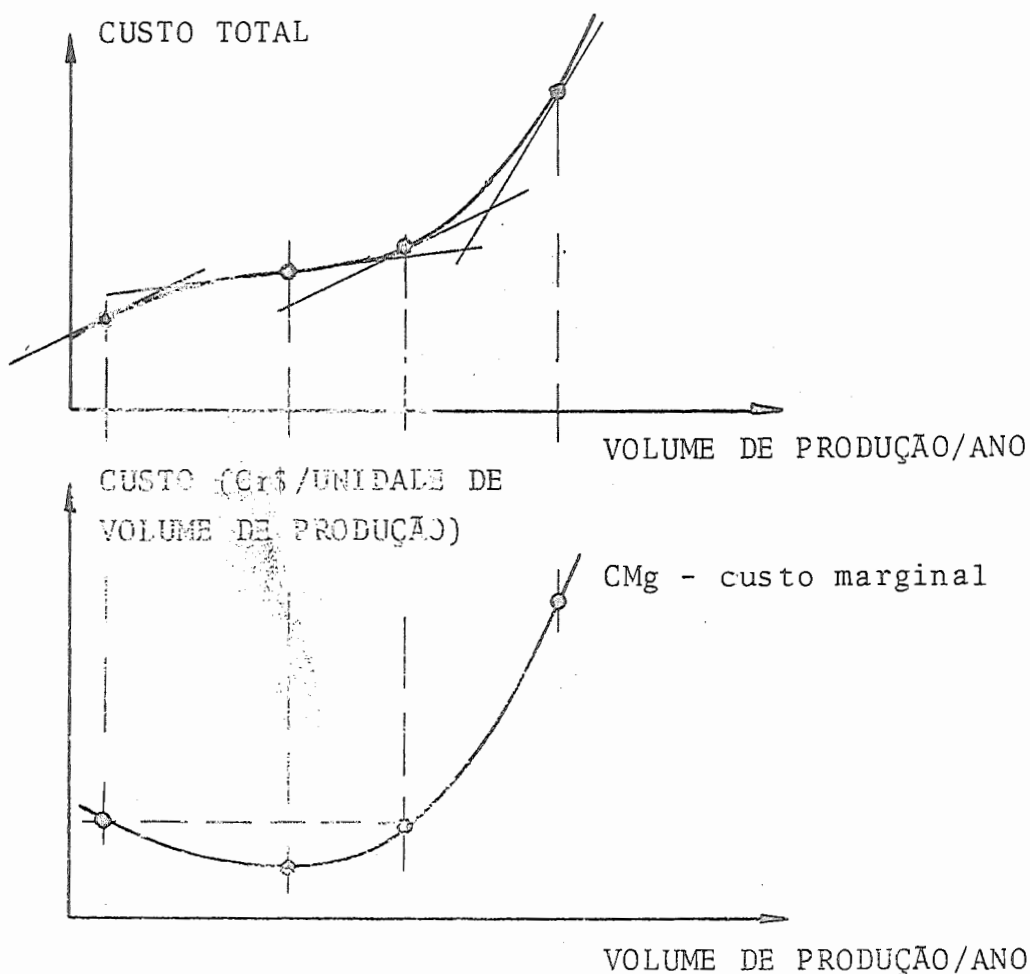


Vê-se portanto que em cada ponto o custo médio é igual a inclinação da reta representativa da divisão do custo total pelo volume de produção.

A curva de custo marginal representa em cada ponto, a variação de custo associada a produzir mais uma unidade de volume de produção. Para uma curva de custo contínua o custo marginal em qualquer ponto é igual a derivada de 1.<sup>a</sup> ordem da curva de custo total nesse ponto. Custo marginal e custo médio tem portanto a mesma unidade de medida.

A figura 3.3 representa a derivação gráfica da curva de custo marginal para a curva de custo total da figura 3.1.

Figura 3.3. - Derivação da Curva de Custo Marginal.



Como as curvas de custo médio e custo marginal tem a mesma unidade de medida, podem ser representadas conjuntamente em um único gráfico. A vantagem de representar o custo total pelas curvas de custo médio e custo marginal é que além dessa representação conter toda a informação contida na curva de custo total, ela contém - informação adicional e permite uma melhor visualização da variação de custo.

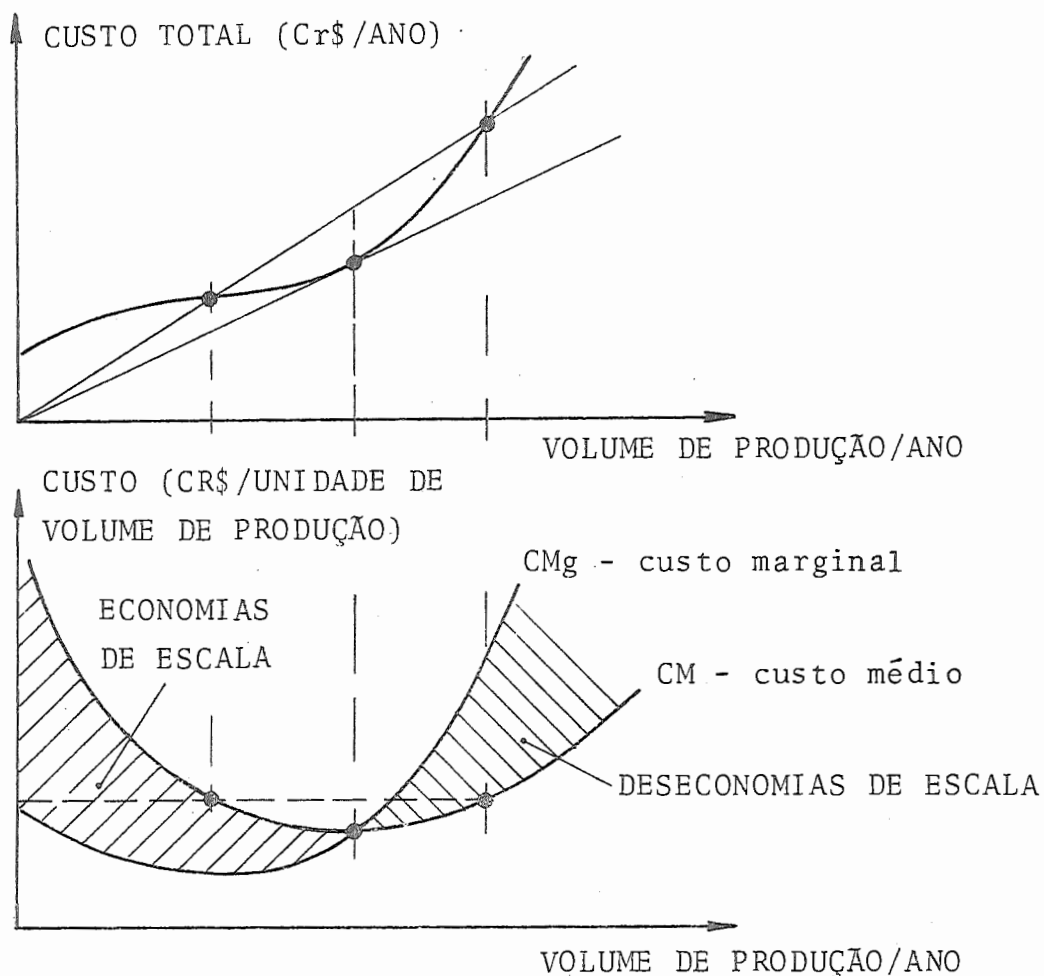
Um conceito importante associado ao custo variável de um processo de produção é o de economias e deseconomias de escala.

Economia de escala tem o seguinte significado : se for aumentado o volume de produção, o custo médio por unidade produzida decresce, ou seja, o processo produtivo se torna mais eficiente na utilização dos insumos. Deseconomias de escala é o oposto, ou seja, a medida que aumenta o volume produzido o processo produtivo torna-se menos eficiente na utilização dos insumos (matérias prima, mão de obra, - capital e outros fatores de produção).



A figura 3.4. mostra a representação conjunta das curvas de custo médio e custo marginal e indica as áreas onde ocorrem economias de escala e deseconomias de escala.

Figura 3.4. - Representação Conjunta de Custo Médio e Custo Marginal.



#### - Custos Diretos e Custos Indiretos.

Custos diretos, como o próprio nome define, são aqueles diretamente ligados ao custo de implantar e operar o sistema. Exemplos: custos de investimento em infraestrutura, veículos, equipamentos e mão de obra diretamente envolvida na construção e operação.

Custos indiretos são aqueles não diretamente ligados ao custo de implantação e operação do sistema. São em geral considerados como custos indiretos: custos administrativos, custos financeiros, custos de propaganda e representação.

Não existe um consenso universal do que deve ser considerado custo direto e o que deve ser considerado custo indireto. Órgãos controladores de sistemas de transportes estabelecem em geral Planos de Contas Uniformizados para a modalidade específica, onde definem quais os custos a serem considerados em cada sub-grupo.

- Externalidades ou Custos Externos.

São os custos que afetam pessoas ou elementos externos ao sistema.

Exemplo: ruído;  
poluição do ar;  
poluição visual.

- Custos Conjuntos.

É comum em sistemas de transporte a produção de um produto com uma tecnologia que simultaneamente gera outro produto.

Exemplo: - linha de trem para transportar minério de ferro de Minas Gerais (A) para o Porto de Tubarão (B), gera capacidade de carga de B para A que não é necessariamente usada mas entra no custo total do transporte.

- os custos externos mencionados acima também podem ser considerados como custos conjuntos.

- Custos Indivisíveis.

Custos indivisíveis são muitas vezes confundidos com custos fixos, pois afetam em geral essa parcela de custo.

O conceito entretanto é diferente e será explicado através de um exemplo.

Exemplo: - estrada de ferro entre A e B.

- custo fixo - via permanente simples + máquinas e vagões.

- a medida que o volume de carga aumenta os custos fixos aumentam com adição de vagões máquinas e sistemas de controle até a saturação da via permanente simples. A implantação da 2ª via da estrada de ferro em sua forma mais simples é um custo indivisível necessário para qualquer aumento de capacidade acima da capacidade instalada.

O mesmo problema de indivisibilidade pode ser observado para estradas, berços de atracação em portos, pistas em aeroportos, etc.

Vê-se portanto que custos indivisíveis são comuns em transportes envolvendo investimentos de vulto para se atingir patamares mais elevados de capacidade.

- Custos Futuros e Valor Presente.

A maioria dos projetos de transporte exigem investimentos ao longo do tempo. Tipicamente tem-se o seguinte:

ciclo de vida de um sistema de transportes - planejamento, projeto, construção, operação, possível renovação, reabilitação ou substituição, ou ainda, abandono.

Nesse ciclo observa-se a incidência de custos diferentes em diferentes anos.

Esse fluxo de dinheiro ao longo do tempo exige um tratamento especial uma vez que a utilidade de poupar versus a utilidade de gastar hoje, inerente a todos nós, exige uma compensação para poupar durante um determinado período.

Para o investidor existe também sempre presente, a possibilidade de investir em um projeto alternativo, cujo fluxo de dinheiro ao longo do tempo é diferente do fluxo do projeto comparado.

Assim é que desenvolveu-se uma técnica de forma a permitir a inclusão na avaliação do custo dessa concepção de utilidade.

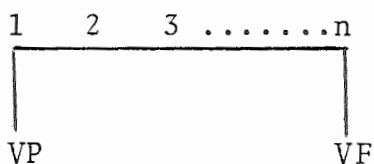
De uma forma geral:

Cr\$ 1.000 hoje vale

Cr\$ 1.000 (1 + i) após 1 período ou

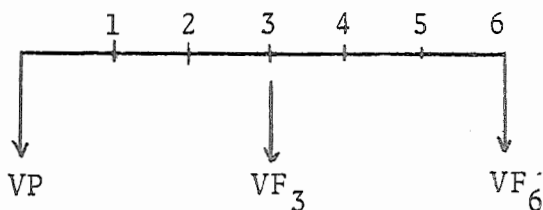
Cr\$ 1.000 (1 + i)<sup>n</sup> após n períodos

onde i = taxa de atratividade ou taxa de retorno sobre o investimento.



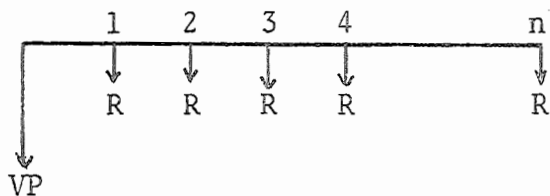
$$VP = \frac{VF}{(1+i)^n}$$

Se o projeto tem vários retornos, então, tem-se:



$$VP = \frac{VF_3}{(1+i)^3} + \frac{VF_6}{(1+i)^6}$$

um caso comum é o de ocorrência de retornos/gastos iguais em  $n$  períodos, tendo-se então:



$$VP = \sum_j^n \frac{R}{(1+i)^j}$$

A expressão acima pode ser representada pela somatória dos membros de uma PG onde o primeiro termo é  $a_1 = \frac{1}{(1+i)}$  e a razão  $r = \frac{1}{(1+i)}$  cuja expressão é dada por:

$$S_n = a_1 \cdot \frac{1 - r^n}{1 - r}$$

tem-se então:

$$VP = R \cdot \frac{1}{(1+i)} \cdot \frac{1 - \left(\frac{1}{1+i}\right)^n}{1 - \frac{1}{1+i}}$$

$$VP = R \cdot \left[ \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right]$$

→ fator de valor atual FVA para série uniforme de pagamentos.

ou ainda

$$R = VP \cdot \frac{1}{FVA}$$

$$R = VP : FRC$$

fator de recuperação de capital

Uma boa fonte de referência para o problema de cálculo de FVA é a bibliografia nº 4.

Problema: Qual a taxa de retorno a ser usada?

Depende do tipo de investimento, mas está associada a:

- utilidade de dinheiro hoje
  - risco
  - característica do projeto (governamental ou privado)
- Como tratar a inflação?

- Dois tipos de inflações:
- inflação geral de preços (todos os produtos são afetados - igualmente).
  - inflação em que o preço ou o custo de um produto cresce mais rapidamente que os outros. e.g petróleo.

De uma forma geral em projetos governamentais assume-se o primeiro tipo de inflação, quando então pode-se desprezar o efeito da inflação. Nesse caso utilizam-se taxas de atratividade relativamente baixas (10-15% ao ano). Em projetos de empresas privadas o aspecto financeiro passa a ser de grande importância o que induz a uma influência maior da taxa de inflação e portanto conduz a taxas de atratividade relativamente elevadas.

- Custo de Oportunidade.

Este é outro conceito de grande importância em economia - de um modo geral. O custo de oportunidade é o valor de um recurso (matéria prima, mão de obra, máquina) aplicado à melhor alternativa disponível além do projeto considerado. É portanto o valor do recurso se ele não fosse aplicado ao projeto em apreço.

O custo de oportunidade é portanto a medida mais correta do custo de um recurso na avaliação econômica de qualquer sistema.

Em muitos casos o custo de oportunidade pode ser igual ao preço do produto no mercado, mas nem sempre ambos são iguais.

Um exemplo desse fenômeno em transportes é o custo de oportunidade de utilização de mão de obra em um projeto governamental, - que permaneceria desempregada se não houvesse o projeto.

### 3.2. Medidas de Custo em Transportes.

- Custos unitários típicos utilizados em transportes:

- . custo/km
- . custo/h
- . custo/ton
- . custo/ton x km
- . custo/passageiro
- . custo/viagem

- Valor Desembolsado - "Out of Pocket Cost".

É um valor bastante utilizado em decisões de transporte. É um fator de decisão típico, para o usuário de transporte individual, que decide entre alternativas de transporte apenas pelo valor monetário efetivamente desembolsado na viagem.

- Custo Generalizado.

Muitas vezes o usuário de transporte usa uma medida mais complexa para o custo de transporte. É o custo generalizado, onde ele inclui outros custos reais tais como tempo de viagem, segurança do sistema, poluição, etc.

Apesar de diversos pesquisadores terem desenvolvido métodos de quantificar em termos monetários fatores tais como os acima mencionados, existe uma dificuldade muito grande de formação de um consenso universal.

Assim é que um muitas decisões esses fatores são considerados de uma forma subjetiva mediante a utilização de índices.

- Custo Social.

O custo social de um sistema de transportes é, como o próprio nome define, o custo desse sistema para a sociedade como um todo. É em princípio o valor que deveria ser utilizado para as decisões. Em função das variáveis envolvidas entretanto, e dada a complexidade de avaliação do impacto dos custos sobre cada setor da sociedade, é bastante difícil sua estimativa.

Apesar dessas dificuldades, o custo social deve permanecer sempre como um objetivo desejável de ser atingido em qualquer avaliação de custos de sistemas de transporte.

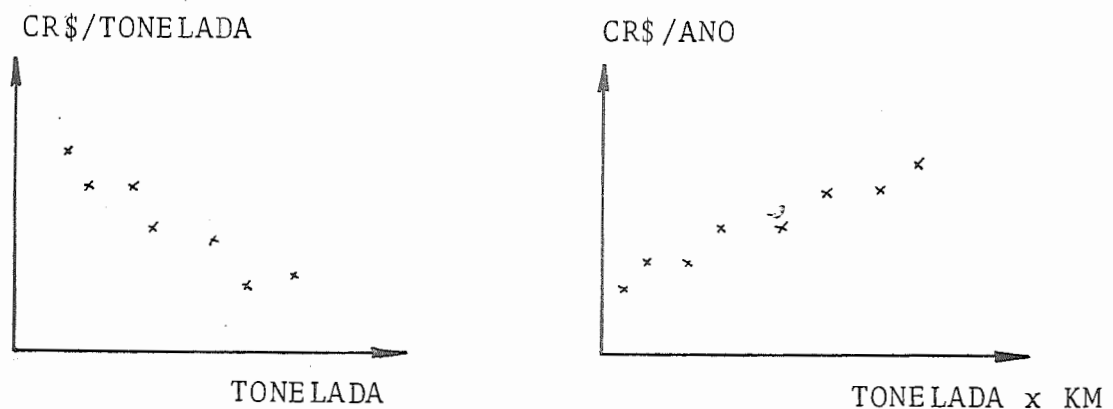
### 3.3. Métodos de Estimativa de Custos.

- Modelos Estatísticos de Custo.
- Modelos de Engenharia de Custo Unitário.
- Modelos Padronizados de Custo.

#### 3.3.1. Modelos Estatísticos de Custo.

São modelos derivados de valores de custo observados na operação real de sistemas de transporte.

Basicamente existem uma série de observações do tipo:



às quais se procura ajustar uma equação representativa.

Os valores necessários para essa ajustagem são em geral obtidos de relatórios contábeis de empresas de transportes e/ou anuários estatísticos tais como:

- Anuário Estatístico dos Transportes - IBGE.
  - Anuário do Transporte Aéreo - DAC.
- e outros.

O método usado para essa ajustagem é o método de análise de regressão, a seguir descrito de forma simplificada, por constituir ferramental básico da economia aplicada.

### ANÁLISE DE REGRESSÃO

Deseja-se determinar uma relação matemática a partir de dados estatísticos de modo que se possa calcular valores de uma variável  $y$ , variável dependente, a partir de valores de outras variáveis  $x_1, x_2, \dots, x_m$  chamadas independentes.

A regressão mais utilizada é a linear, com coeficientes calculados através do método de Mínimos Quadrados. Esse método pode ser usado para funções lineares ou linearizações tais como:

$$y_1 = a + bx$$

$$y = a \cdot x^b \quad \ln y = \ln a + b \ln X$$

$$y = a \cdot e^{bx} \quad \ln y = \ln a + bx$$

No caso mais simples de regressão tem-se apenas duas variáveis: a variável dependente  $y$  e uma variável independente  $x$ .

A relação geral, nesse caso, é  $y = a + bx$ , onde  $a$  e  $b$  são constantes, a serem determinadas através da regressão.

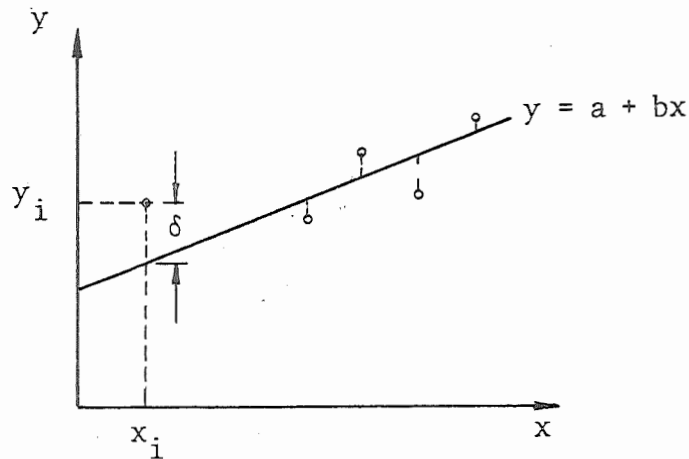
Para se determinar os valores de  $a$  e  $b$  é necessário um conjunto de  $n$  pares de valores  $x, y$ . O  $i^{\text{ésimo}}$  par é então representado por  $x_i, y_i$ .

Se substituirmos o valor  $x_i$  na equação geral indicada acima obtemos o valor estimado da variável dependente:  $y = a + bx_i$ .

O desvio correspondente é definido como a diferença entre o valor observado ( $Y_i$ ) e o valor estimado ( $y$ ), conforme indicado na Figura 3.5.



Figura 3.5 - Regressão pelo Método dos Mínimos Quadrados. Desvios.



Tem-se portanto:

$$\delta_i = y_i - y = y_i - a - bx_i$$

No método dos mínimos quadrados considera-se a soma dos quadrados de todos os desvios e impõe-se a condição de que essa soma seja mínima.

$$S = \sum_{i=1}^n \delta_i^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - a - bx_i)^2$$

Para se obter os valores de  $a$  e  $b$  que tornam  $S$  mínima, deriva-se a expressão acima em relação a  $a$  e  $b$  e igualam-se as derivadas a zero:

$$\frac{\partial S}{\partial a} = -2 \sum_{i=1}^n (y_i - a - bx_i) = 0$$

$$\frac{\partial S}{\partial b} = -2 \sum_{i=1}^n (y_i - a - bx_i) \cdot x_i = 0$$

As duas equações acima conduzem ao seguinte sistema de equações que permite calcular  $a$  e  $b$ :

$$\sum_{i=1}^n y_i = a n + b \sum_{i=1}^n x_i$$

$$\sum_{i=1}^n x_i y_i = a \sum_{i=1}^n x_i + b \sum_{i=1}^n x_i^2$$

No caso da regressão múltipla, isto é, com duas ou mais variáveis independentes, a equação geral da regressão é a seguinte:

$$y = a + b_1 x_1 + b_2 x_2 + \dots + b_m x_m$$

Nesse caso impõe-se também a mínima soma dos quadrados dos desvios, donde:

$$S = \sum_{i=1}^n (y_i - a - b_1 x_{1i} - b_2 x_{2i} - \dots - b_m x_{mi})^2$$

Com as derivadas parciais:

$$\frac{\partial S}{\partial a} = 2 \sum_{i=1}^n (y_i - a - b_1 x_{1i} - b_2 x_{2i} - \dots - b_m x_{mi}) = 0$$

$$\frac{\partial S}{\partial b_1} = 2 \sum_{i=1}^n (y_i - a - b_1 x_{1i} - b_2 x_{2i} - \dots - b_m x_{mi}) x_{1i} = 0$$

⋮

$$\frac{\partial S}{\partial b_m} = 2 \sum_{i=1}^n (y_i - a - b_1 x_{1i} - b_2 x_{2i} - \dots - b_m x_{mi}) x_{mi} = 0$$

Essas equações, simplificadas, conduzem ao seguinte sistema de  $m + 1$  equações lineares em  $a, b_1, b_2, \dots, b_m$ :

$$\sum_{i=1}^n y_i = a n + b_1 \sum_{i=1}^n x_{1i} + \dots + b_m \sum_{i=1}^n x_{mi}$$

$$\sum_{i=1}^n y_i x_{1i} = a \sum_{i=1}^n x_{1i} + b_1 \sum_{i=1}^n x_{1i}^2 + \dots + b_m \sum_{i=1}^n x_{mi} x_{1i}$$

⋮

$$\sum_{i=1}^n y_i x_{mi} = a \sum_{i=1}^n x_{mi} + b_1 \sum_{i=1}^n x_{1i} x_{mi} + \dots + b_m \sum_{i=1}^n x_{mi}^2$$

O sistema anterior permite calcular os valores dos coeficientes  $a, b_1, b_2, \dots, b_m$ .

Usualmente os computadores modernos dispõem de programas de regressão prontos para serem utilizados, que fornecem, além dos coeficientes da equação básica, parâmetros estatísticos permitindo a análise de significância da regressão ou de seus componentes.

Um dos parâmetros nessa análise é o coeficiente de determinação  $R^2$ . Esse coeficiente exprime a fração da variância da variável  $y$  que é explicada (e portanto eliminada) através da regressão. Assim, se  $R^2 = 0,95$ , isso indica que 95% da variação de  $y$  (variável dependente) é relacionada com a variação das variáveis independentes. Os 5% restantes são devidos a fatores aleatórios ou, melhor dizendo, não explicáveis através das variáveis independentes.

Coeficiente de determinação  $R^2$ .

$$R^2 = \frac{\sum (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum (y_i - \bar{y})^2}$$

onde:  $\hat{y}_i$  são os valores de  $y_i$  calculados pela equação

$$\hat{y}_i = a + b \cdot x_i$$

$y_i$  - são os valores observados

e  $\bar{y}$  - é a média dos valores observados

### 3.3.2. Modelos de Engenharia de Custo Unitário.

Os modelos de engenharia diferem dos modelos estatísticos no sentido de que a tecnologia é considerada explicitamente.

Assim, considera-se em um modelo de engenharia de custo unitário, o custo individual dos fatores de produção do sistema. Os cientistas e técnicos ligados a área de transportes desenvolveram uma classificação bastante generalizada de fatores de produção que ocorrem na maioria dos sistemas de transportes.

A tabela 3.1 apresenta uma relação dos fatores de produção típicos envolvidos em um modelo de custo unitário de um sistema de transporte.

Tabela 3.1 - Fatores de Produção Típicos de um Modelo de Custo de Transporte.

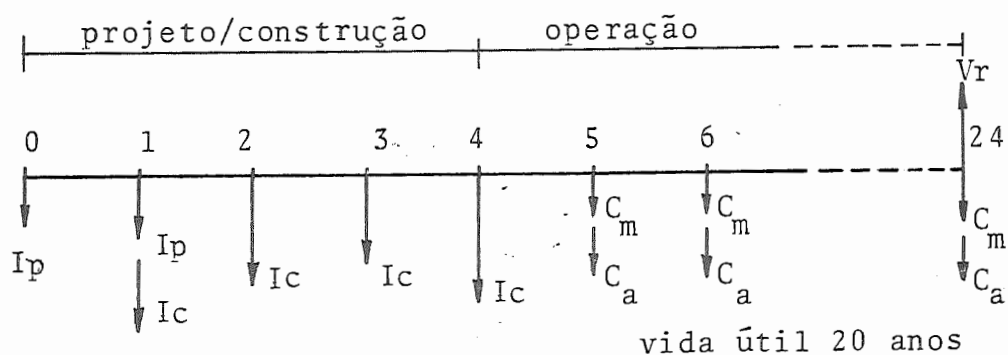
SUB-SISTEMA	FATORES PRODUÇÃO TÍPICOS
<p data-bbox="137 467 408 501">INFRAESTRUTURA</p> <ul style="list-style-type: none"> <li data-bbox="485 358 564 387">vias</li> <li data-bbox="485 403 660 433">terminais</li> <li data-bbox="485 455 740 485">obras de arte</li> <li data-bbox="485 501 778 530">sistemas de con</li> <li data-bbox="485 546 580 576">trole</li> </ul> <p data-bbox="485 818 639 848">VEÍCULOS</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li data-bbox="890 358 1283 387">planejamento/projeto</li> <li data-bbox="890 403 1337 433">construção-investimento</li> <li data-bbox="890 455 1082 485">manutenção</li> <li data-bbox="890 501 1145 530">administração</li>   <li data-bbox="890 630 1123 659">investimento</li> <li data-bbox="890 682 1043 712">salários</li> <li data-bbox="890 728 1107 757">combustível</li> <li data-bbox="890 773 1139 802">lubrificantes</li> <li data-bbox="890 818 1082 848">manutenção</li> <li data-bbox="890 864 1027 893">seguros</li> <li data-bbox="890 909 1337 938">licenças e outras taxas</li> <li data-bbox="890 954 1145 984">administração</li> </ul>

A determinação dos custos dos fatores de produção é baseada largamente em experiência com projetos de natureza semelhante - sendo que para o ítem construção, existem índices bastante difundidos de diversos órgãos oficiais ligados ao setor para ítems tais como: terraplenagem, drenagem, pavimentação e construção civil. Custos de equipamentos e sistemas de controle podem em geral ser estimados por semelhança.

Para os veículos o custo dos fatores de produção é determinado a partir de dados e informações dos fabricantes dos veículos e valores correntes de mercado para combustíveis, salários, seguros e outras taxas. Custos administrativos são em geral estimados por semelhança com outros sistemas.

#### CUSTO DE INFRAESTRUTURA

Tipicamente o custo da infraestrutura ocorre ao longo do período de vida útil da mesma e tem-se em geral um cronograma de desembolso semelhante ao exemplo abaixo:



onde:  $I_p$  - investimento em planejamento e projeto.  
 $I_c$  - investimento em construção.  
 $C_m$  - custo de manutenção.  
 $C_a$  - custo de administração.  
 $V_r$  - valor residual.

#### CUSTO DE VEÍCULO

Os custos de veículos são em geral determinados como custos anuais e envolvem:

Investimento: que é depreciado em  $n$  parcelas anuais iguais chamadas de custo anual de depreciação.

$$C_D = \left( I - \frac{V_R}{(1+i)^n} \right) \times FRC_{(i,n)}$$

onde:  $I$  - investimento.  
 $V_R$  - valor residual ao final do período de depreciação.  
 $n$  - período de depreciação.  
 $i$  - taxa de atratividade do investimento.  
 $FRC_{(i,n)}$  - fator de recuperação de capital à taxa  $i$  em  $n$  períodos.

Salários: dividem-se em salários diretos da operação e encargos sociais.

Salários diretos da operação:

- rodoviário - motorista, ajudante.
- ferroviário- maquinista, condutores, fiscais, guarda freios.

- hidroviário- capitão, imediato, oficiais, mecânicos da casa de máquinas, marinheiros, etc (depende do tipo de embarcação).
- aéreo - comandante, 1º oficial, 2º oficial (em alguns equipamentos, engenheiro de vôo), comissários.

esses valores são estimados em função de salários médios do mercado de trabalho de cada classe.

- encargos sociais- férias, 13º, FGTS, precisam ser estimados em cada caso, pois variam com o nível salarial e o sindicato representativo da classe.

Combustível: calculado a partir de um índice de consumo (por km ou por hora) versus o preço do combustível no mercado.

O índice de consumo é obtido a partir das características do sistema propulsor e de curvas de consumo x tração ou potência - disponível. Para veículos rodoviários o consumo médio é função das condições da estrada.

terra	↑	custo/km
cascalho		
asfalto		

Lubrificantes: custo estimado a partir das características operacionais do motor ou como uma percentagem do custo do combustível.

Manutenção: estimada a partir de recomendações e/ou especificações do fabricante do veículo (por km rodado ou hora de uso), ou como um percentual do valor inicial do veículo.

Seguros, licenças e outras taxas: estimado a partir de valores correntes da indústria.

Administração: o custo de administração de sistemas de transportes é muito variável e depende do grau de complexidade do sistema. Em geral o custo de administração é calculado como um percentual do custo operacional direto utilizando-se como referência dados de custos administrativos versus custos diretos de sistemas semelhantes.

Os custos administrativos podem variar desde 10-15% do COD para empresas pequenas de transporte rodoviário até 100-120% para grandes empresas de transporte aéreo.

### 3.3.3. Modelos Padronizados de Custo.

Alguns órgãos nacionais e internacionais ligados ao setor de transportes desenvolveram modelos de custo que são comumente utilizados em estudos comparativos de custos de transporte.

Entre esse os mais conhecidos no meio técnico brasileiro são:

- 1) Modelo de Custo de Transporte Rodoviário da AASHO - "American Association of State Highway Officials".
- 2) Modelo de Custo de Transporte Aéreo ATA-67 - "Air Transport Association of America".
- 3) Modelo de Custo de Transporte Caminhões do DNER apresentado na revista Transporte Moderno ano VII nº 73 - agosto 1969.
- 4) Modelo de Custo de Transporte Hidroviário - desenvolvido pelo Departamento de Engenharia Naval da EPUSP e apresentado em Novaes, A.G.N. - Economia e Tecnologia do Transporte Marítimo.
- 5) Modelo de Custo de Transporte Rodoviário em função do tipo de pavimento apresentado em Weile, Jan de - "Quantification of Road User Savings".

BIBLIOGRAFIA

- 1) Bovy, Philippe - "Transport et Societé".
- 2) Morlok, Edward K. - "Introduction to Transportation Engineering and Planning". Mc Graw Hill, N.Y., 1978.
- 3) Johnston, J. - "Métodos Econométricos". Atlas São Paulo, 1977.
- 4) Hess, Geraldo et alii - Engenharia Econômica ; 4.<sup>a</sup> Edição, Forum Editora. Rio de Janeiro, 1973.
- 5) Novaes, A.G.N. - Economia e Tecnologia de Transporte Marítimo. Almeida Naves, Rio de Janeiro, 1976.
- 6) Weile, Jan de - "Quantification of Road User Savings". John Hopkins Univ. Press, N.Y., 1966.



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS  
DEPARTAMENTO DE VIAS DE TRANSPORTE E TOPOGRAFIA - STT

STT-135 TRANSPORTES II

NOTAS DE AULA - VOLUME II

OFERTA E DEMANDA EM TRANSPORTES.  
REVISÃO DE CONCEITOS ECONÔMICOS.



PROF. JOÃO ALEXANDRE WIDMER

- SÃO CARLOS - 1981 -

ÍNDICE

pag.

4. Oferta e Demanda em Transportes . . . . .	1
4.1. Revisão de conceitos econômicos . . . . .	1
4.1.1. Tipos de mercados . . . . .	1
4.1.2. Curva de Oferta - Teoria do produtor . . . . .	1
4.1.3. Curva de Demanda - Teoria do Consumidor . . . . .	9
4.2. Equilíbrio de demanda e oferta . . . . .	17
Bibliografia . . . . .	23

#### 4. Oferta e Demanda em Transportes

##### 4.1. Revisão de conceitos econômicos.

##### 4.1.1. Tipos de mercados.

a) Mercado perfeitamente competitivo - é aquele em que o valor (preço) dos produtos e/ou bens de consumo são estabelecidos pelo mercado. Nesse mercado existem por princípio muitos produtores cada um deles detendo uma pequena parcela do mercado e sem ter controle sobre os preços.

b). Mercado monopolístico - é aquele em que existe um único produtor ou um produtor que domina o mercado e que estabelece o preço de acordo com seus próprios interesses.

c) Mercado oligopolístico - é aquele em que existe um pequeno número de produtores, que aparentemente concorrem entre si, mas na realidade possuem acordos comuns para estabelecer os preços dos produtos ou serviços que oferecem.

##### 4.1.2. Curva de Oferta - Teoria do produtor.

a) Definição - curva de oferta é o custo correspondente a oferecer uma quantidade de um determinado produto ou serviço utilizando determinados fatores de produção, também denominados insumos, em um processo tecnológico eficiente.

De uma forma geral, uma curva de custo de produção de transporte conforme visto no Capítulo 3, é representativa de uma curva de oferta, apesar de nem sempre corresponder ao processo tecnológico mais eficiente.

##### b) O Processo Tecnológico de Produção.

O processo tecnológico de produção é basicamente a transformação de uma matéria prima ou um produto em um produto diferente.

Exemplo: transporte de passageiros entre dois pontos.

via + veículo + mão de obra ————— passageiros dia

↙  
processo de produção

Para facilitar a revisão dos conceitos da teoria do produtor utilizaremos um exemplo passível de ser representado por apenas dois fatores de produção (facilidade de representação gráfica) e cujos insumos ou fatores de produção sejam divisíveis em unidades menores que o sistema de transportes dado no exemplo acima, onde existem indivisibilidades intrínsecas.

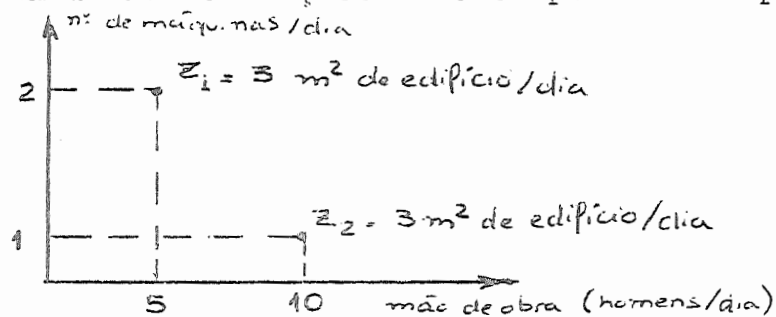
Admitamos que é possível simplificar o processo de construção de um edifício a tal ponto em que entram apenas tres fatores de produção:

máquinas - mão de obra - material de construção

para produzir  $m^2$  de edifício/dia.

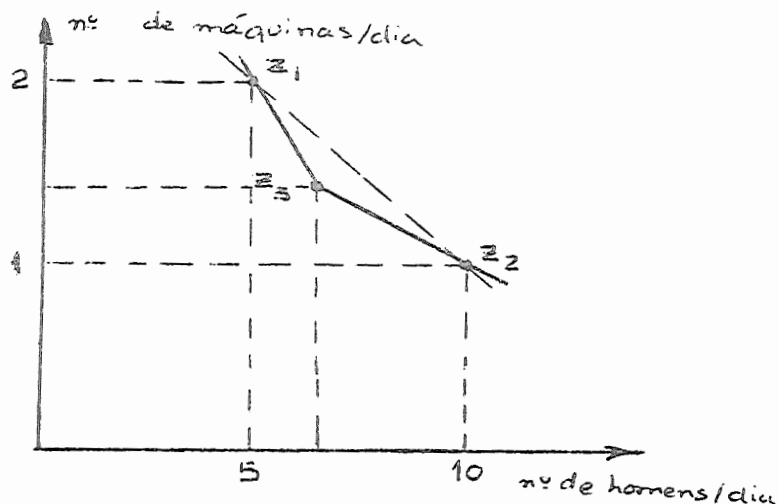
e que qualquer que seja a combinação dos dois primeiros fatores o material necessário para determinado nível de produção é o mesmo. Isso permite eliminar por ora o material de construção do processo.

Teremos então nas condições mais simplificadas possíveis:



onde  $z_1$  e  $z_2$  representam dois processos de produção diferentes para um mesmo nível de produção.

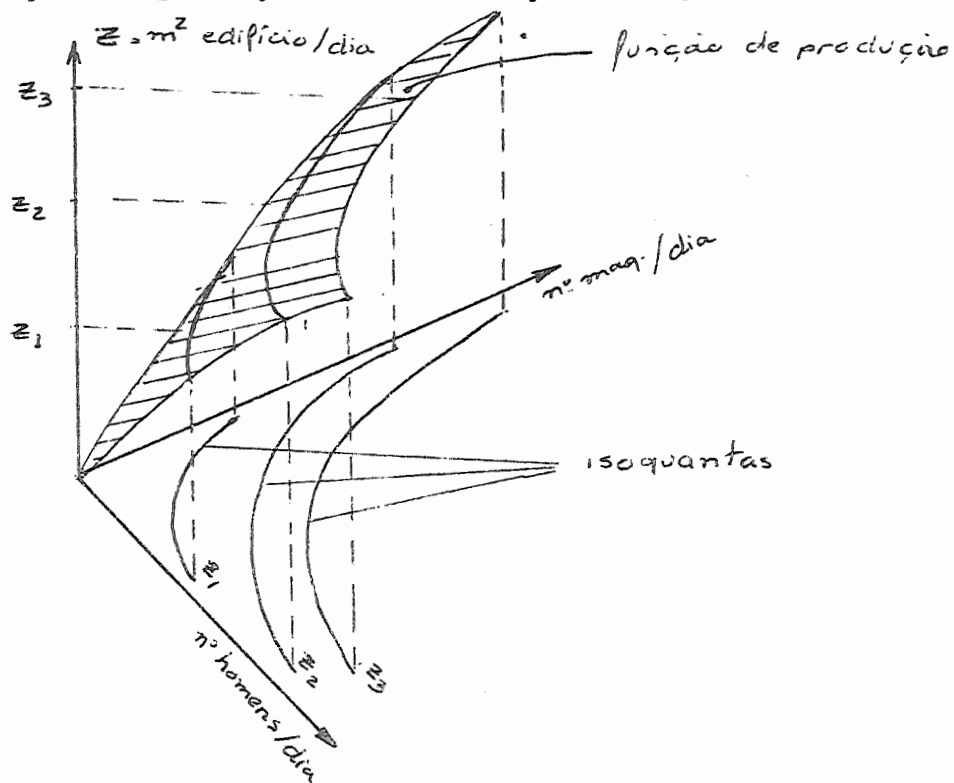
É possível que exista um terceiro processo  $z_3$  que também produz  $3 \text{ m}^2$  de edifício/dia como mostra a figura abaixo.



Se admitirmos que é possível uma variação contínua da proporção dos fatores de produção entre  $z_1$  e  $z_2$ , qualquer ponto  $z_3$ , para que o processo de produção seja eficiente, tem que estar no mínimo sobre a reta  $z_1$  e  $z_2$  ou então mais próximo da origem como é o caso de  $z_3$  na figura anterior.

Definição - o lugar geométrico dos pontos correspondentes a um mesmo volume de produção usando diferentes combinações de insumos, ou seja, processos tecnológicos diferentes, é denominado de isoquanta.

Se generalizarmos para  $n \rightarrow \infty$  processos de produção (combinações de insumos) e vários níveis de produção diferentes, obtemos uma função de produção a semelhança da figura abaixo.

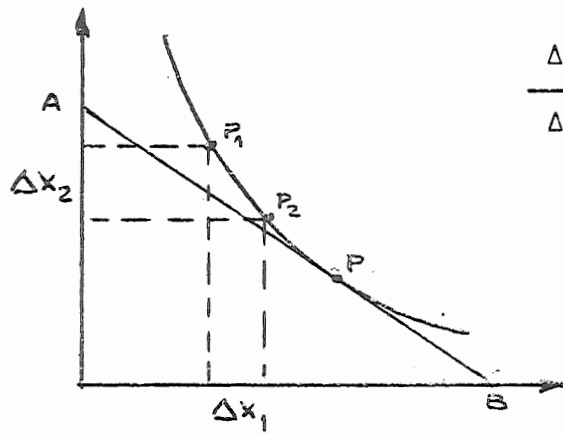


Características do mapa de isoquantas:

1. isoquantas são convexas a origem
2. isoquantas não se cruzam
3. isoquantas mais distantes da origem do eixo de coordenadas correspondem a níveis de produção mais elevados.

c) Conceitos Associados ao Processo Tecnológico de Produção.

c.1) razão de substituição - é a razão em que um fator de produção substitui outro fator de produção ao longo de uma mesma isoquanta.



$\frac{\Delta x_1}{\Delta x_2}$  é a razão de substituição de  $x_1$  por  $x_2$

no limite a razão de substituição é:

$\frac{dx_1}{dx_2}$  e denominada razão marginal de substituição  $RMS_{12}$

e representada no ponto P pela inclinação da reta AB.

O ponto A representa a quantidade de  $x_2$  que seria possível comprar se toda uma receita R fosse investida só em  $x_2$ . Essa quantidade é portanto igual a  $\frac{R}{Px_2}$  onde  $Px_2$  é o preço de uma unidade de  $x_2$ .

Analogamente B representa a quantidade de  $x_1$  que se poderia comprar com R e que é igual a  $\frac{R}{Px_1}$  onde  $Px_1$  é o preço de  $x_1$ .

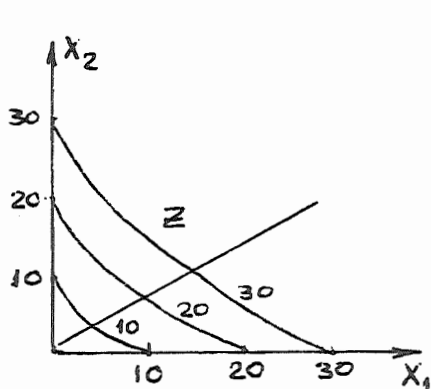
$$\text{Vê-se portanto que } RMS_{12} = - \frac{Px_2}{Px_1} \text{ e } RMS_{21} = - \frac{Px_1}{Px_2}$$

c.2) rendimentos de escala - é a análise do que ocorre com o processo de produção se houver uma variação proporcional de todos os fatores de produção.

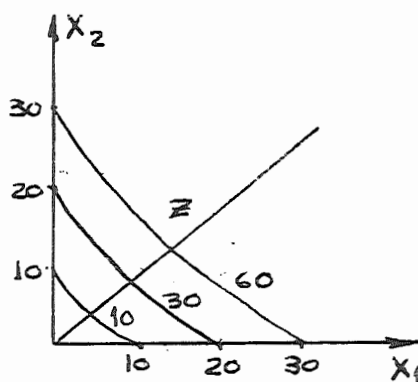
Podem ocorrer três condições:

- o volume de produção varia na mesma proporção dos fatores de produção  $\implies$  rendimentos constantes de escala.
- o volume de produção varia mais que proporcionalmente à variação dos fatores de produção  $\implies$  rendimentos crescentes de escala.
- o volume de produção varia menos que proporcionalmente à variação dos fatores de produção  $\implies$  rendimentos decrescentes de escala.

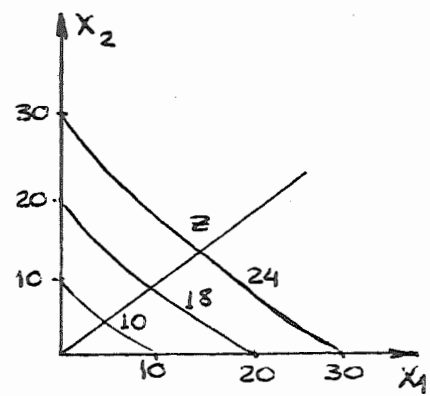
Representação Gráfica



rendimentos constantes de escala



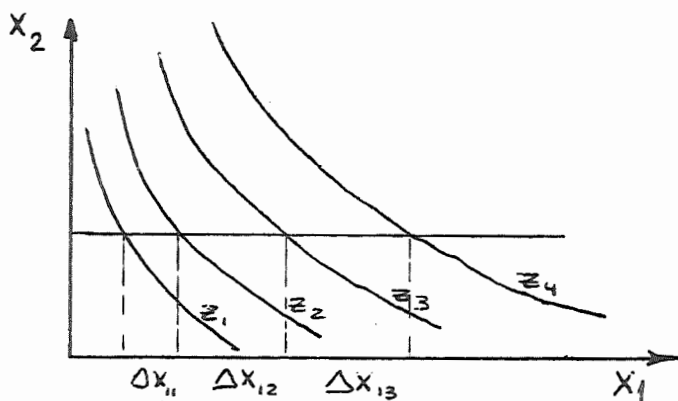
rendimentos crescentes de escala



rendimentos decrescentes de escala

c.3) produtividade dos fatores de produção - é a análise do que ocorre com o processo de produção se varia apenas um fator de produção.

Graficamente teríamos:



$$\text{produtividade do fator } x_1 = \frac{\Delta z_i}{\Delta x_{1i}}$$

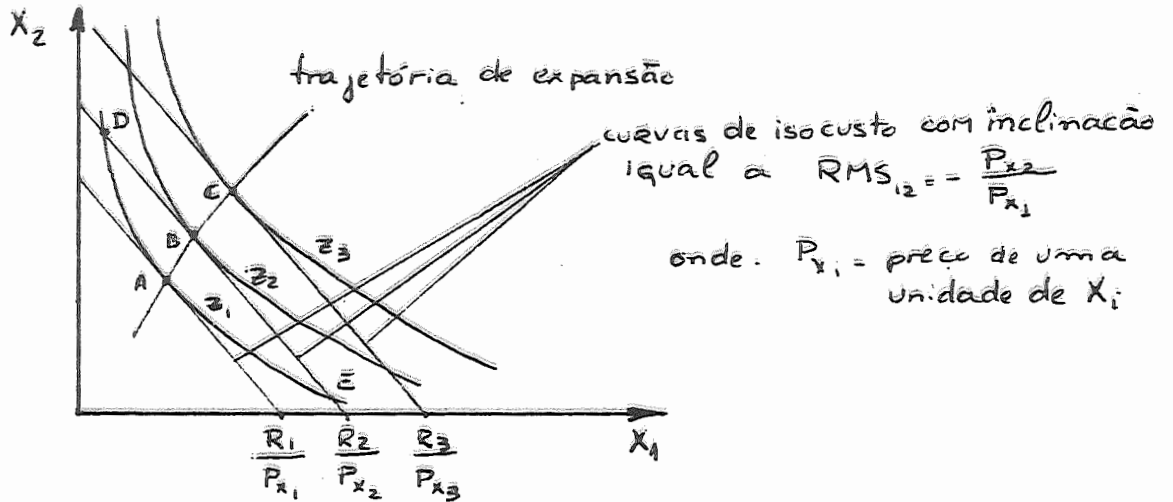
ou no limite teremos a produtividade marginal  $PM_{x_i}$

$$PM_{x_i} = \frac{dz}{dx_i}$$

De uma forma geral em processos de produção ocorre a lei dos rendimentos decrescentes de fatores de produção, ou seja, fixados todos os outros, o fator de produção torna-se cada vez menos produtivo a medida que aumenta o volume de produção. Essa lei pode não ser válida quando o processo apresenta rendimentos crescentes de escala muito intensos, o que é raro na maioria dos processos de produção.

### 4. Determinação da Curva de Custo-Total.

Voltando ao mapa de isoquantas mostramos que uma receita  $R$  e a relação entre os preços dos insumos definia uma reta, a qual chamaremos curva de isocusto conforme mostrado na figura abaixo, em que foram traçadas três isoquantas e três curvas de isocusto.



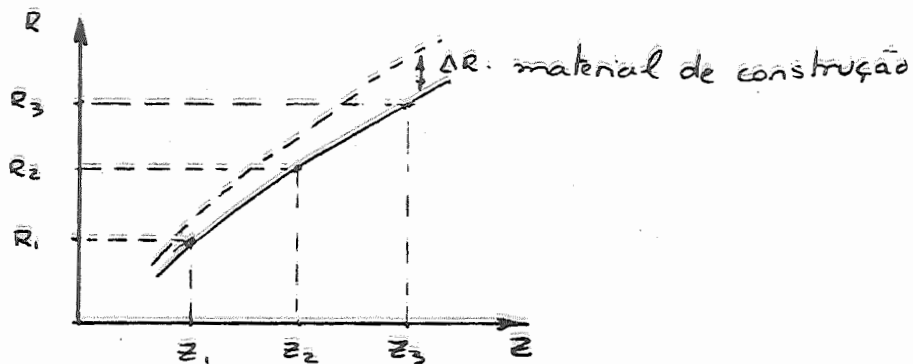
Da figura observa-se que para uma dada receita  $R_i$  e uma relação fixa dos preços dos insumos, existe um processo tecnológico ótimo de produção que maximiza a quantidade produzida por receita empregada. Os pontos A, B e C representam pontos ótimos de produção enquanto D e E representam processos de produção viáveis tecnologicamente mas a um custo  $R_3$  mais elevado que  $R_2$ .

A trajetória de expansão é portanto o lugar geométrico dos pontos correspondentes a combinações ótimas de fatores de produção uma vez fixada a relação de preços (razão marginal de substituição) dos fatores de produção (insumos).

Se traçarmos um gráfico de  $Z \times R$ , teremos a curva de custo total desse processo de produção, à qual, como se vê, está associado um princípio de eficiência.

No caso de nosso exemplo, devemos somar ainda em cada ponto o custo do material de construção que foi excluído do processo de produção para simplificar a revisão dos conceitos.

CURVA DE CUSTO TOTAL

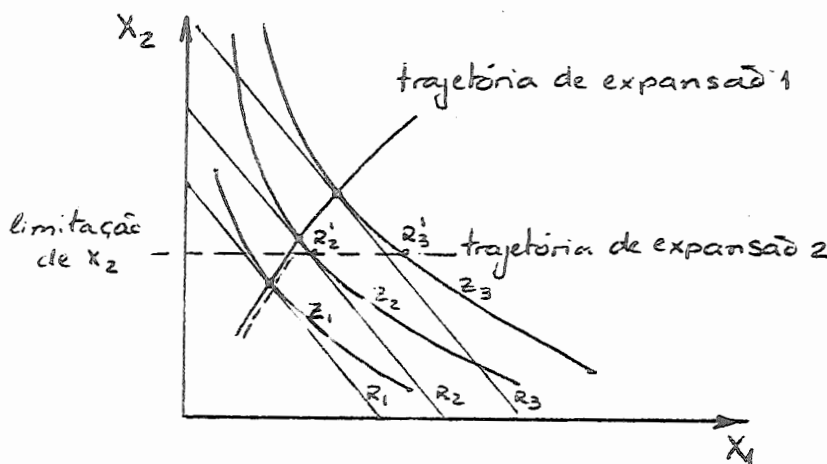




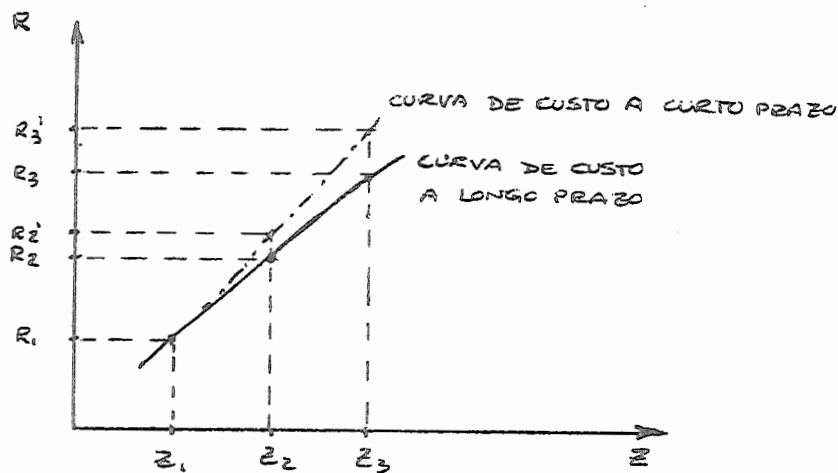
A curva de custo total obtida da forma aqui apresentada, é o que se convencionou chamar de curva de custo a longo prazo porque ela admite implicitamente que não existe limitação no emprego dos fatores de produção.

Como é comum na prática ocorrerem limites de emprego de determinados insumos no processo tecnológico de produção, convencionou-se denominar de curva de custo a curto prazo a curva de custo total resultante de uma trajetória de expansão devida à limitação de um dos fatores de produção.

Utilizando o mesmo mapa de isoquantas da figura anterior teríamos:



$$R_2' > R_2 \text{ e } R_3' > R_3$$



e. Curva de oferta - da definição de curva de oferta vê-se que essa curva nada mais é que a curva de custo determinada a partir de um processo de produção.

f. Análise de Economias de Escala.

A partir dessa revisão de conceitos da teoria do consumidor é possível explicar em maior detalhe em que condições podem ocorrer economias de escala em um processo tecnológico de produção.

Economias de escala podem ocorrer quando:

- o processo tem custo fixo elevado.
- existem economias de escala na aquisição dos insumos.
- ocorrerem rendimentos crescentes de escala no processo de produção.

#### 4.1.3. Curva de Demanda - Teoria do Consumidor.

##### a) Conceito de Demanda.

Definição - curva de demanda ou curva de procura de um bem ou serviço é a função representativa do preço que um indivíduo ou grupo de indivíduos está (ão) disposto (s) a pagar para consumir uma - certa quantidade desse bem ou serviço.

O conceito de demanda no sentido puramente econômico está portanto associado ao desejo ou necessidade de consumir. Se o preço do produto variar ou mudarem as características sócio-econômicas dos consumidores a demanda varia.

O termo demanda é comumente empregado no sentido de quantidade demandada ou quantidade consumida de um produto.

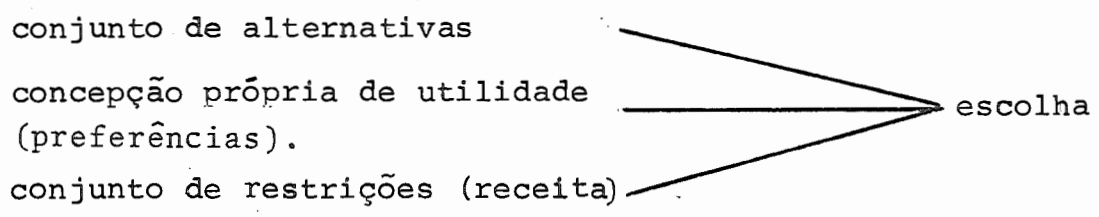
Como veremos adiante entretanto, nem sempre a quantidade consumida de um produto ou serviço é representativa da demanda, - ou seja, do desejo de consumir, pois podem ocorrer limites de capacidade na oferta. Exemplos:

1. A não existência de uma ligação rodoviária entre dois pontos - não significa que não existe demanda por transporte rodoviário entre esses dois pontos.
2. O volume de tráfego observado em uma estrada congestionada não é necessariamente representativo da quantidade demandada de - viagens, pois se a capacidade da estrada fosse maior e mantendo-se o custo de utilização da mesma o volume de tráfego observado provavelmente seria maior.

Deve-se portanto tomar cuidado no emprego da expressão - demanda, e avaliar com cuidado em que contexto está sendo utilizada.

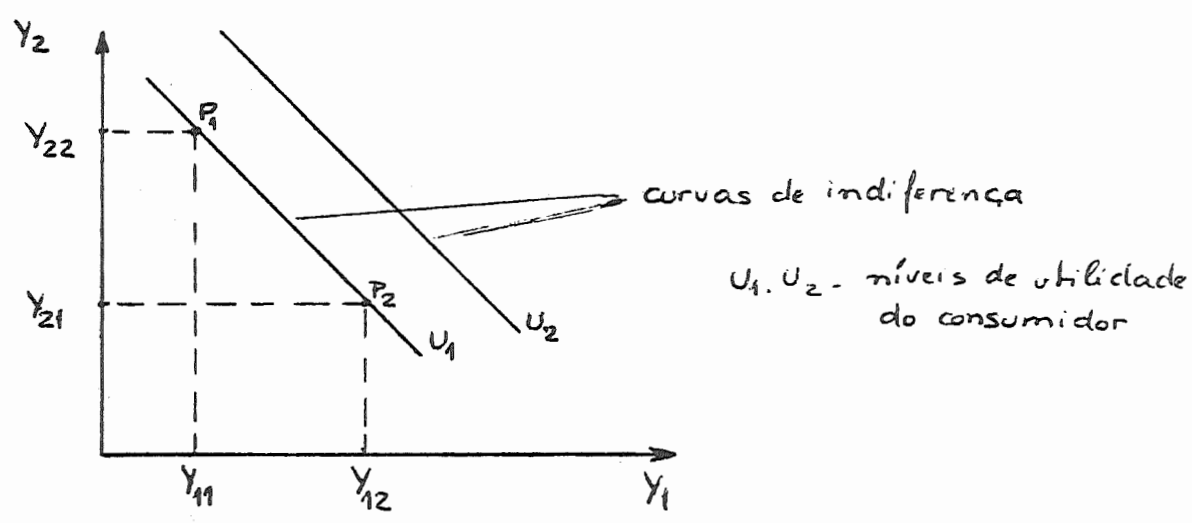
b) Conceito de Utilidade Individual - Preferência do Consumidor.

Todo consumidor tem a sua disposição um conjunto de alternativas de consumo sendo que a sua escolha da quantidade que irá consumir de cada bem ou serviço que lhe é oferecido dá-se de acordo com um esquema que pode ser representado de uma forma simplificada como abaixo:



Para facilitar a revisão dos conceitos da teoria do consumidor utilizaremos um exemplo bem simplificado em que o consumidor decide apenas entre dois bens de consumo, admitindo-se que o nível de consumo de todos os outros estão fixados.

Teríamos então um consumidor que pode consumir  $Y_1$  e  $Y_2$  em diversas combinações conforme mostra a figura abaixo:



Se admitirmos que o consumidor é indiferente entre consumir  $(Y_{11}, Y_{22})$  ou  $(Y_{12}, Y_{21})$  então ele atinge em  $P_1$  e  $P_2$  um mesmo nível de satisfação, que convencionou-se chamar de utilidade do consumidor.

Se extendermos, à semelhança do que foi feito na teoria do produtor, o conceito de utilidade para outras combinações de  $Y_1$  e  $Y_2$ , por exemplo todos os pontos sobre a reta  $P_1P_2$ , então teremos - que a reta  $P_1P_2$  representa uma curva de indiferença do consumidor para produtos  $Y_1$  e  $Y_2$  associada a um nível de utilidade  $U_1$ .

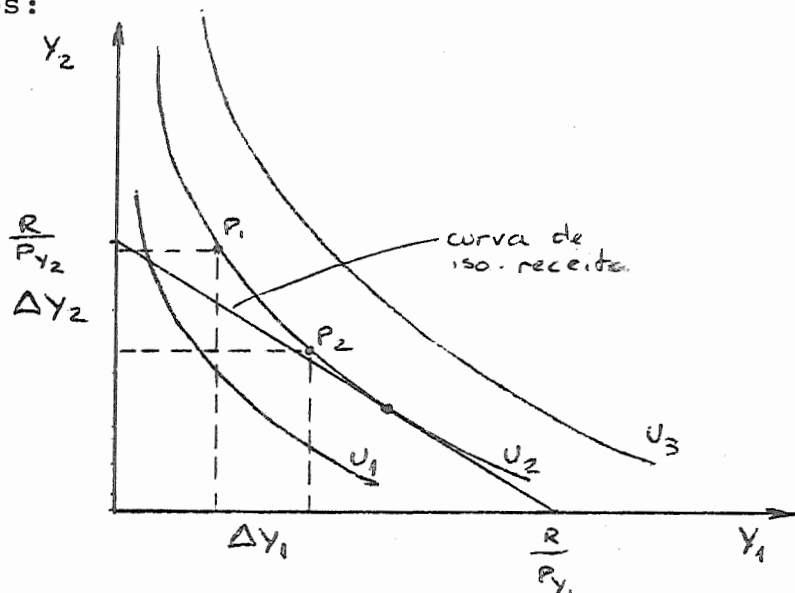
Características do mapa de curvas de indiferença:

1. curvas de indiferença são convexas à origem;
2. curvas de indiferença não se cruzam;
3. curvas de indiferença mais distantes da origem correspondem a níveis de utilidade mais elevados.

c. Conceitos Associados ao Mapa de Curvas de Indiferença.

c.1) razão de substituição - é a razão em que um bem de consumo é substituído por outro bem de consumo para um mesmo nível de utilidade.

Da mesma forma como para o produtor o consumidor decide - em função de sua receita, e se analisarmos o problema graficamente temos:



razão de substituição de  $Y_1$  por  $Y_2 = \frac{\Delta Y_1}{\Delta Y_2}$

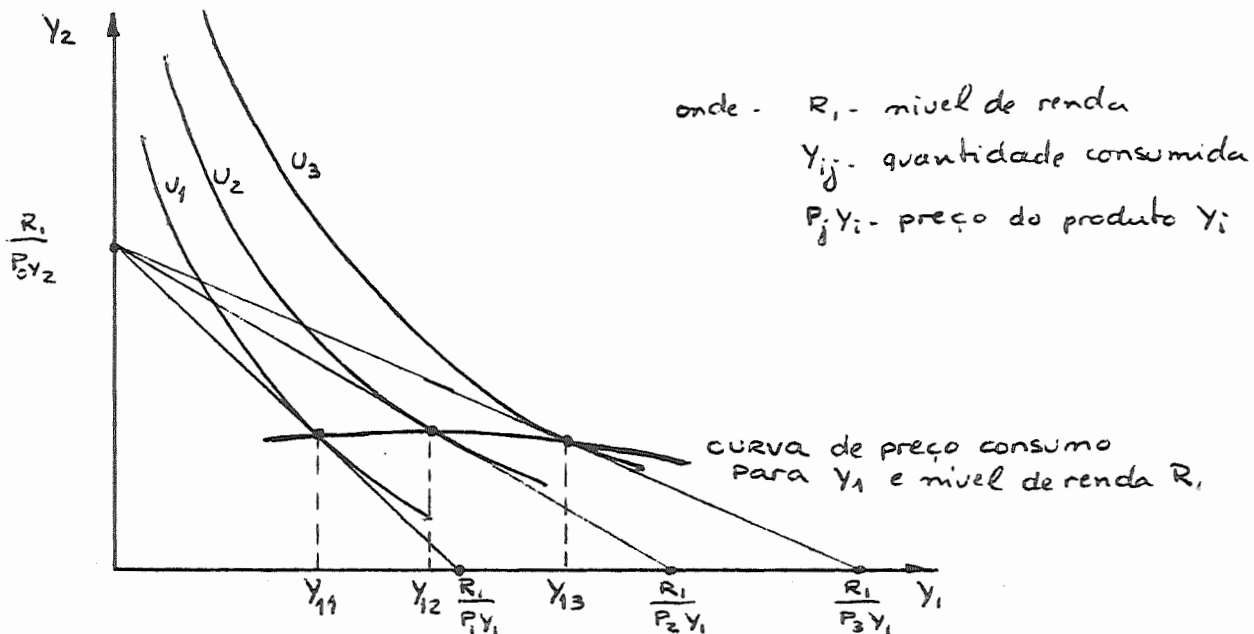
e no limite a  $RMS_{12} = \frac{dY_1}{dY_2} = - \frac{PY_2}{PY_1}$

ou seja a razão marginal de substituição de  $Y_1$  por  $Y_2$  é igual a menos o inverso da relação dos preços desses produtos.

c.2) utilidade marginal - é uma medida de quanto o consumo de um determinado bem ou serviço contribui para a utilidade total quando todos os outros produtos de consumo alternativos permanecem fixos.

$$UM_{Y_1} = \frac{dU}{dY_1}$$

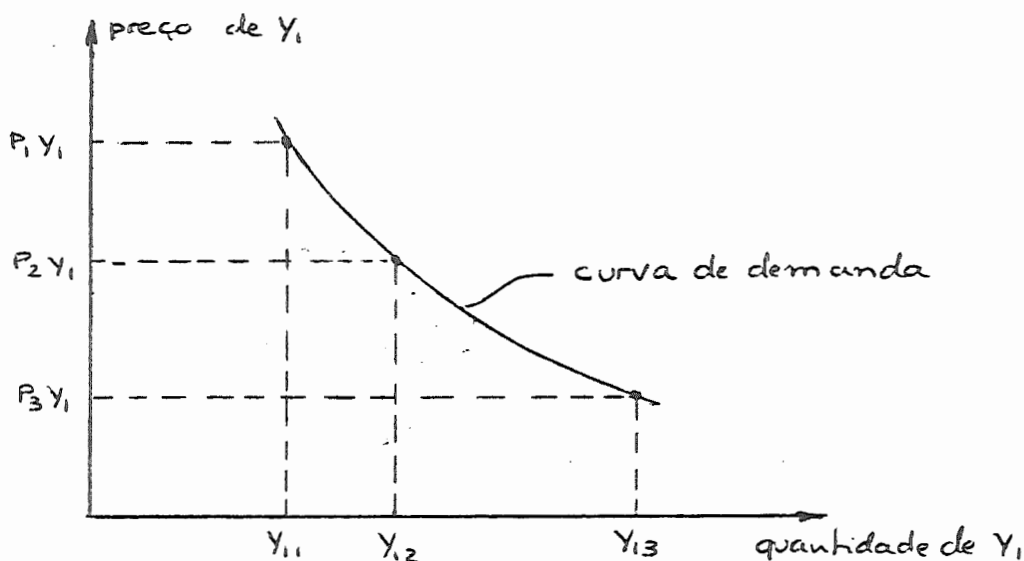
c.3) Curva de preço consumo - dado um mapa de indiferença como o apresentado abaixo:



tem-se que a curva de preços consumo é o lugar geométrico dos pontos de tangência de retas de iso-receita com curvas de utilidade quando varia o preço de apenas um produto, todos os outros preços mantidos fixos.

d. Determinação da Curva de Demanda - a partir da curva de preço consumo de um produto tem-se a curva de demanda desse produto, pois os pontos de tangência definem as quantidades  $Y_{11}, Y_{12} \dots Y_{1n}$  que são consumidas quando varia o preço de  $Y_1$  e o(s) consumidor(es) maximiza(m) a sua utilidade.

A figura seguinte é uma representação típica da curva de demanda.



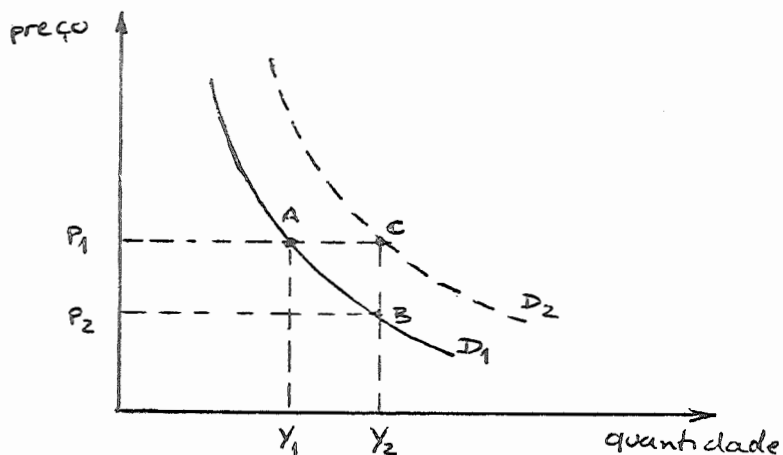
A curva de demanda mostra portanto, como a quantidade demandada de um produto varia em função de seu preço, mantendo-se fixos os preços de todos os outros produtos e maximizando-se a utilidade do(s) consumidor(es).

e. Conceitos Associados a Curva de Demanda.

e.1) Conceito de aumento de demanda.

Viu-se da teoria do consumidor que a demanda varia em função do preço do produto. A maioria das curvas de demanda chamadas de curvas normais de demanda tem forma semelhante a apresentada acima. Nessas condições a demanda (quantidade demandada) aumenta quando o preço diminui.

Um aumento de demanda também pode ocorrer quando para um mesmo preço do produto a quantidade consumida, ou quantidade demandada aumenta conforme mostra a figura abaixo:



$$\text{fixado } P_1 \longrightarrow X_2 > X_1 \implies D_2 > D_1$$

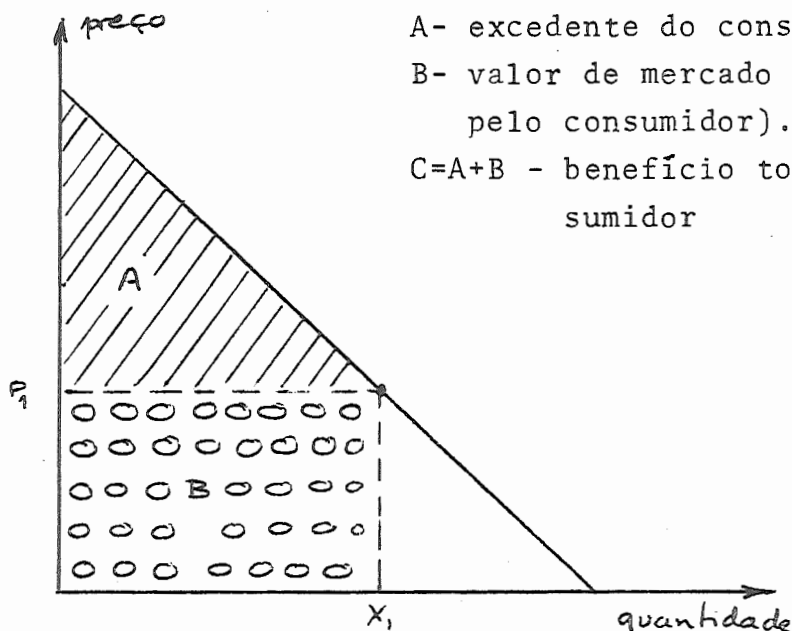
Um aumento de demanda como o acima representado  $D_2 > D_1$ , pode ocorrer quando:

- ocorre um aumento de renda do consumidor;
- ocorre uma diminuição proporcional dos preços dos bens consumidos;
- ocorre um aumento do número de consumidores se estivermos tratando de uma curva de demanda agregada.

Uma curva de demanda agregada é a curva de demanda global representativa de um grupo de indivíduos, é igual a somatória das demandas individuais, admitindo-se um comportamento homogêneo por parte da sociedade considerada.

e.2) Custos e Benefícios do(s) Consumidor(es).

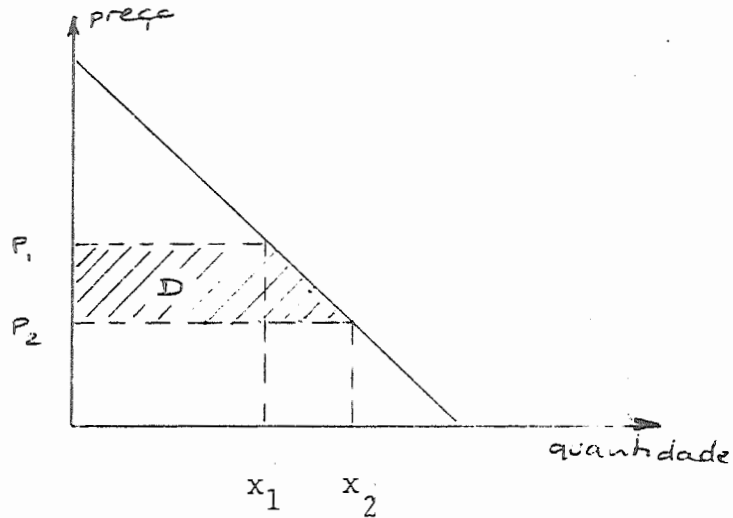
A figura abaixo mostra graficamente uma série de conceitos de custos e benefícios do consumidor derivados da curva de demanda e de uso corrente.



A- excedente do consumidor  
B- valor de mercado (valor pago pelo consumidor).  
C=A+B - benefício total do consumidor



Quando ocorre uma mudança do ponto de equilíbrio de  $P_1X_1$  para  $P_2X_2$ , devido por exemplo a uma melhoria nas características da oferta, então a área D como mostra a figura abaixo, é o lucro dos consumidores decorrente da mudança do ponto de equilíbrio do mercado.



f. Conceito de Elasticidade de uma Função em Relação a uma Variável - Definição de Elasticidade.

Em uma função  $Y = f(x)$  define-se como elasticidade de Y

em relação a X

$$\eta = \frac{\frac{dy}{y}}{\frac{dx}{x}} = \frac{dy}{dx} \cdot \frac{x}{y}$$

Uma função pode ter elasticidade unitária, ser relativamente elástica ou relativamente inelástica conforme  $|\eta| = 1$ ,  $|\eta| > 1$  ou  $0 < |\eta| < 1$  respectivamente.

A medida de elasticidade de uma função é uma medida de variação como a derivada, com a vantagem de ser adimensional e de mostrar o que ocorre com Y se ocorrer uma variação de k% em X.

Se Y variar também k%  $\longrightarrow$  Y tem elasticidade unitária em relação a X.

Se Y variar mais de k%  $\longrightarrow$  Y é relativamente elástica - em relação a X.

Se Y variar menos de k%  $\longrightarrow$  Y é relativamente inelástica em relação a X.

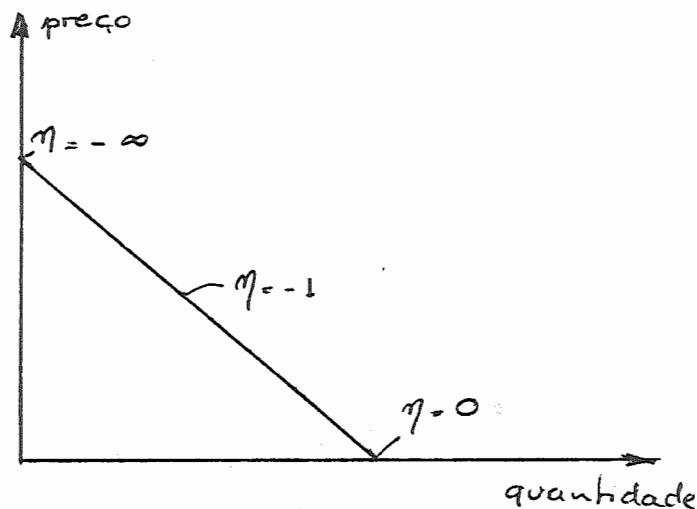
Como para derivadas, existe também o conceito de elasticidade parcial em relação a uma das variáveis em funções do tipo:

$$Z = f(x,y) \quad \text{define-se } \eta_x = \frac{\partial z}{\partial x} \cdot \frac{x}{z} \quad \eta_y = \frac{\partial z}{\partial y} \cdot \frac{y}{z}$$

Funções do tipo  $Y = a \cdot x^b$  tem elasticidade constante

$$\eta = \frac{dy}{dx} \cdot \frac{x}{y} = b \cdot a \cdot x^{b-1} \cdot \frac{x}{a \cdot x^b} = b$$

Segue que funções lineares  $Y = a + bX$  não tem elasticidade constante. Exemplo: função de demanda linear  $Y = a - bX$  onde  $Y$  é a quantidade demandada e  $X$  é o preço.

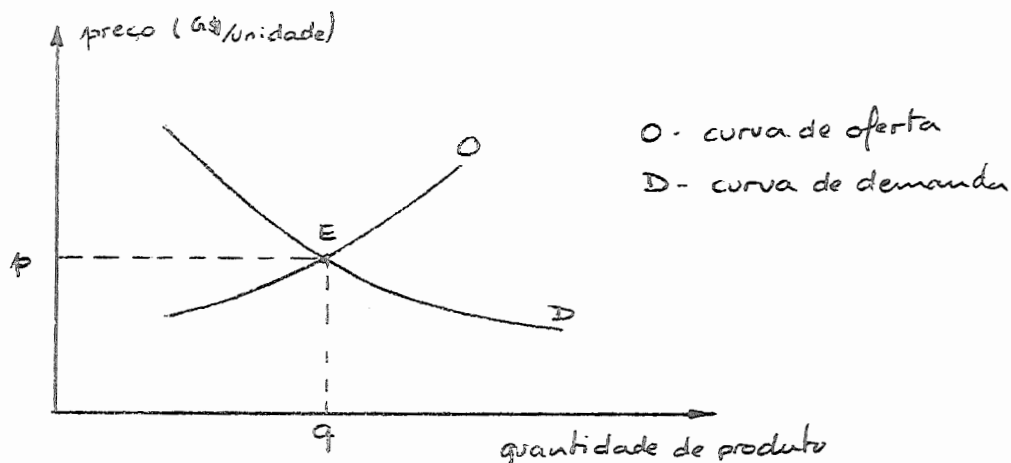


O exemplo acima serve também de ilustração para a apresentação de dois problemas típicos de conflito na aplicação dos conceitos de elasticidade de demanda na engenharia.

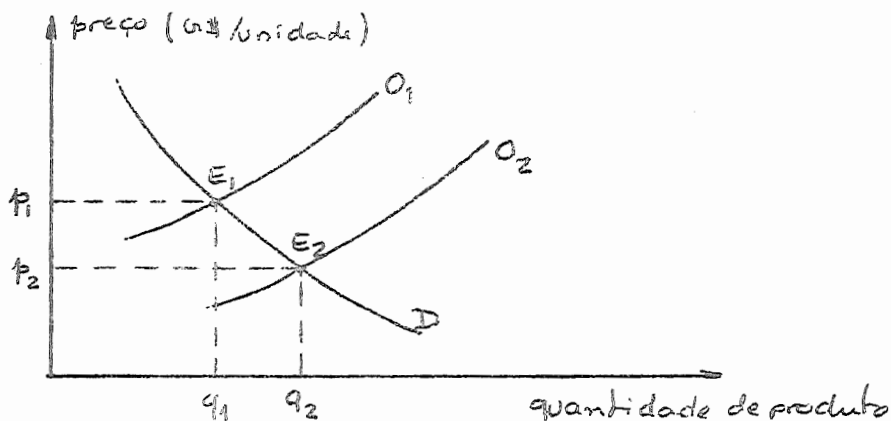
O primeiro é que para o caso específico de quantidade de mandada versus preço os economistas usam representar a variável dependente  $Y$  no eixo das abscissas. O segundo é que quando se fala em elasticidade da demanda, assume-se em geral que se trata da elasticidade da quantidade demandada ou quantidade consumida em relação ao preço. Como veremos adiante entretanto, o conceito de elasticidade da demanda pode ser estendido a um grande número de variáveis exógenas, pois a demanda, particularmente em transportes, não é só função do preço.

#### 4.2. Equilíbrio de demanda e oferta.

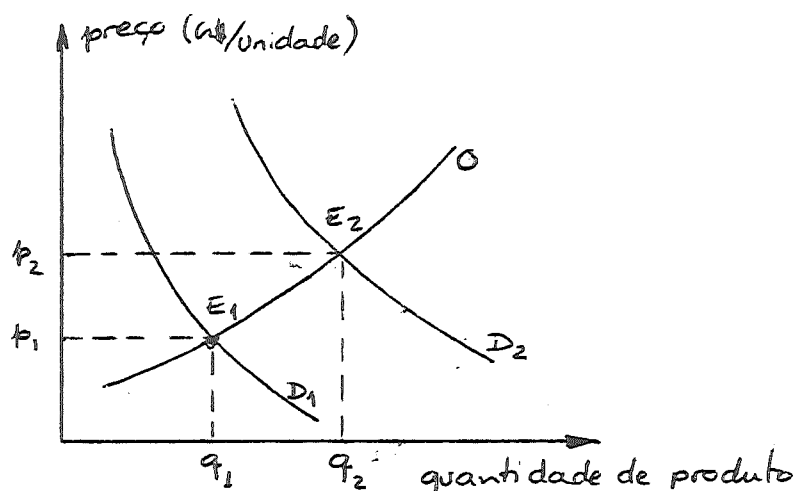
Do ponto de vista puramente econômico o mercado deve entrar, em equilíbrio em um ponto onde a demanda é igual a oferta, ou seja, onde o preço que os consumidores estão dispostos a pagar para consumir determinada quantidade de produto iguala o custo do produtor para produzir essa mesma quantidade.



Se houver uma variação na oferta (aqui utilizada no contexto de curva de oferta), ou seja, um novo processo tecnológico permitir produzir a mesma quantidade de produto a um custo unitário inferior, então observar-se-á teoricamente, um deslocamento do ponto de equilíbrio conforme ilustra a figura abaixo.

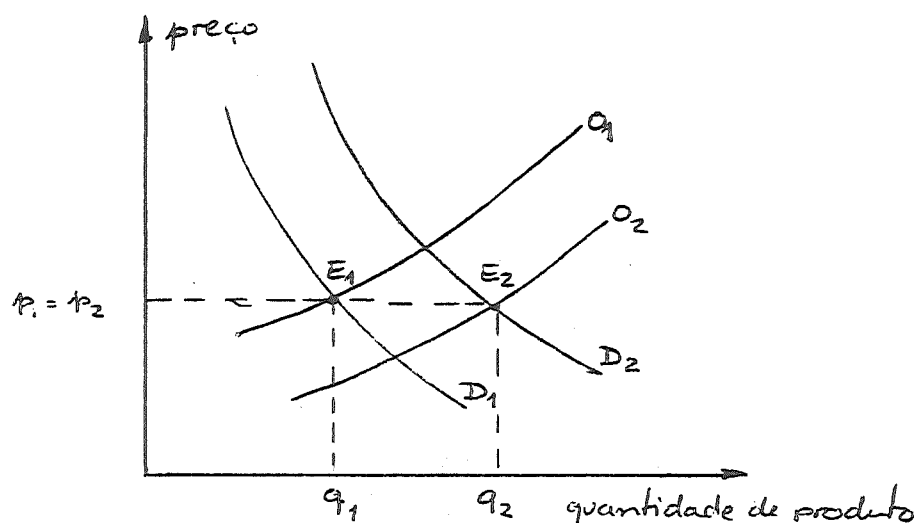


Um deslocamento do ponto de equilíbrio pode também ocorrer se houver uma variação de demanda (aqui utilizado no contexto de curva de demanda), ou seja, um aumento da renda dos consumidores ou da população de consumidores conforme ilustra a figura seguinte.



O exemplo acima mostra uma alternativa em que pode - aumentar a quantidade demandada mesmo ocorrendo, um aumento do preço para os consumidores. Ele mostra também claramente que uma série de observações de pontos de equilíbrio de oferta e demanda não representa necessariamente uma função de demanda. Aliás no mundo real é mais comum não representar.

É natural que o deslocamento também pode ocorrer devido a uma variação concomitante da curva de demanda e da curva de oferta como ilustrado abaixo.

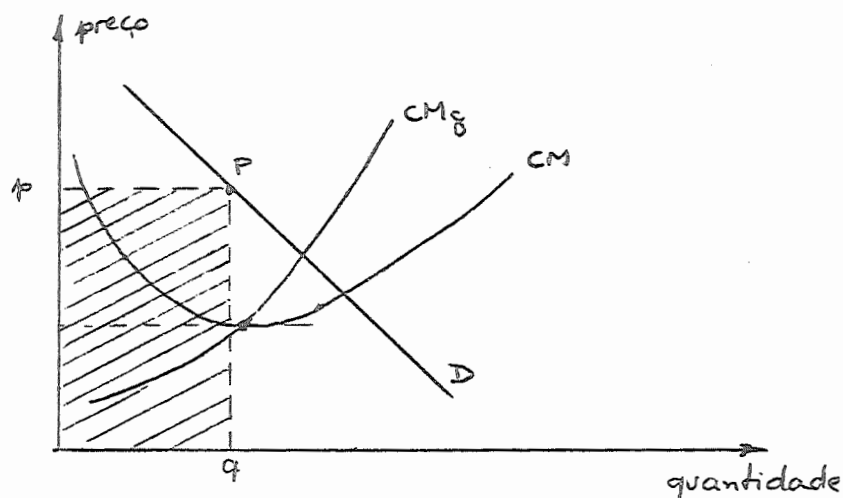


O equilíbrio entre demanda e oferta entretanto não é tão simples como os modelos acima apresentados, pois os produtores, ao fornecer o produto, tem um de três objetivos:

1. maximizar o lucro - objetivo básico da empresa privada.
2. ter lucro zero - atingir o "break-even" - objetivo de uma empresa governamental que presta um serviço público.
3. maximizar a receita - objetivo de uma empresa privada, de uma empresa de economia mista ou estatal com o propósito de conquistar um maior poder de barganha no mercado.

Como veremos a seguir é possível ao produtor, conhecendo a função de demanda e a sua curva de oferta na forma de custo médio e custo marginal de produzir uma determinada quantidade de produto, determinar o ponto de equilíbrio coerente com o seu objetivo.

A figura abaixo representa uma curva de demanda D (que por facilidade foi assumida como sendo linear) e as curvas de custo médio CM e custo marginal CMg associadas ao processo de produção.



Para mostrar os pontos de equilíbrio correspondentes as três situações acima enunciadas é necessário estabelecer dois conceitos adicionais, o de receita média RM e receita marginal RMg do produtor.

Conhecida a função de demanda, o produtor conhece o preço máximo que ele pode em princípio cobrar para fornecer uma determinada quantidade de produto. Se ele cobrar efetivamente esse valor a função de demanda representa para o produtor a função (curva) de receita média. No ponto P da figura anterior a receita total do produtor é portanto igual a área hachurada.

Tem-se então que a função de receita total  $RT = RM \cdot q$

O conceito de RMg é idêntico ao de CMg ou seja é igual a derivada da função de receita total em relação a quantidade.

$$\text{logo } RMg = \frac{dRT}{dq}$$

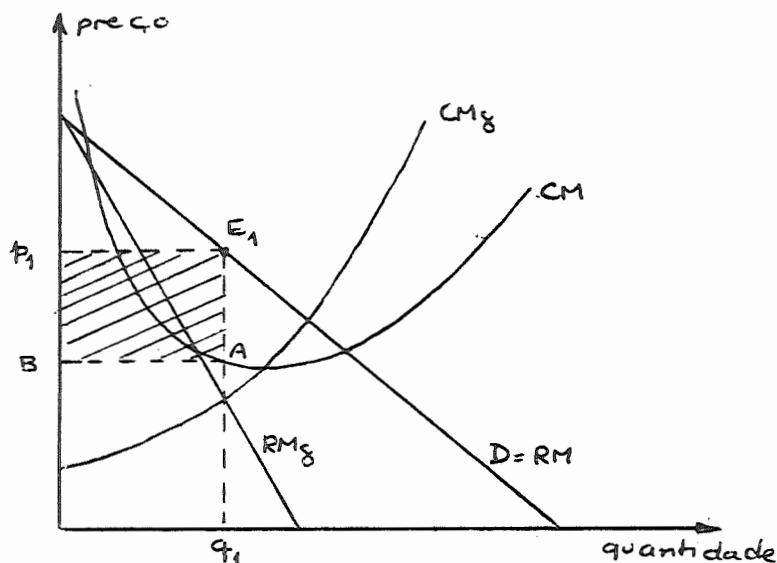
No caso específico de curva de demanda linear tem-se que:

$$RM = a - b \cdot q$$

$$RT = a \cdot q - bq^2$$

$$RMg = \frac{dRT}{dq} = a - 2b \cdot q$$

Portanto a curva de receita marginal é uma reta com o dobro da inclinação da curva de receita média = curva de demanda.



A figura acima mostra a representação completa das curvas de custo e receita do produtor.

Tem-se então as seguintes situações de equilíbrio:

Caso 1: maximização do lucro

$$\text{Lucro } L = RT - CT$$

$$\max L = \frac{dL}{dq} = 0$$

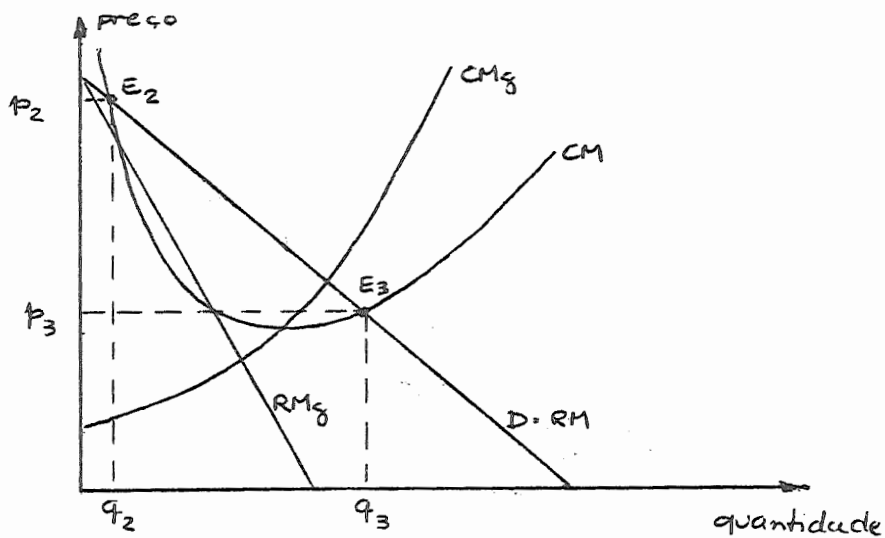
$$\text{ou seja } \frac{dRT}{dq} - \frac{dCT}{dq} = 0$$

$$\implies RMg = CMg$$

Portanto o produtor que visa maximizar o lucro produz uma quantidade  $q_1$  equivalente ao ponto onde  $RMg = CMg$  e cobra  $p_1$  dos consumidores que é o preço que os mesmos estão dispostos a pagar. O ponto  $E_1$  corresponde a situação de equilíbrio no primeiro caso, e a área  $P_1E_1AB$  corresponde ao lucro máximo do produtor.

Caso 2: lucro zero = "break-even"

Utilizando o mesmo gráfico do exemplo anterior reproduzido a seguir, tem-se:



Lucro L = RT - CT

∴ L = 0 ⇒ RT = CT ou RM = CM

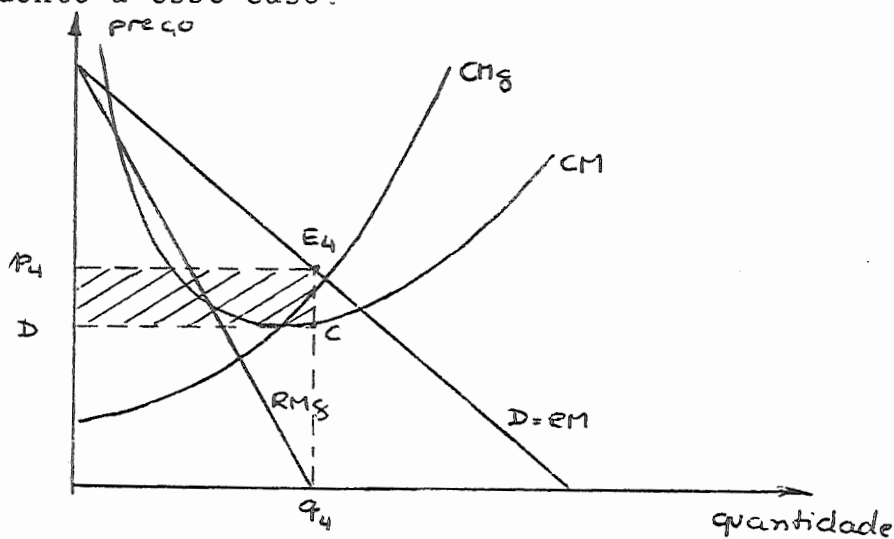
pois  $\frac{RT}{q} = \frac{CT}{q}$

No gráfico anterior ve-se portanto que, para esse caso particular, existem dois pontos de equilíbrio onde o lucro é zero E<sub>2</sub> e E<sub>3</sub>.

Dos conceitos associados a curva de demanda vistos em 4.1.2.e. tem-se que o ponto E<sub>3</sub> corresponde a um ponto de equilíbrio em que o benefício dos usuários é maior que em E<sub>2</sub>. Portanto - E<sub>3</sub> corresponde nesse caso, ao ponto de equilíbrio de lucro zero com maximização dos benefícios dos usuários.

Caso 3: maximização da receita

O gráfico abaixo mostra o ponto de equilíbrio E<sub>4</sub> correspondente a esse caso.



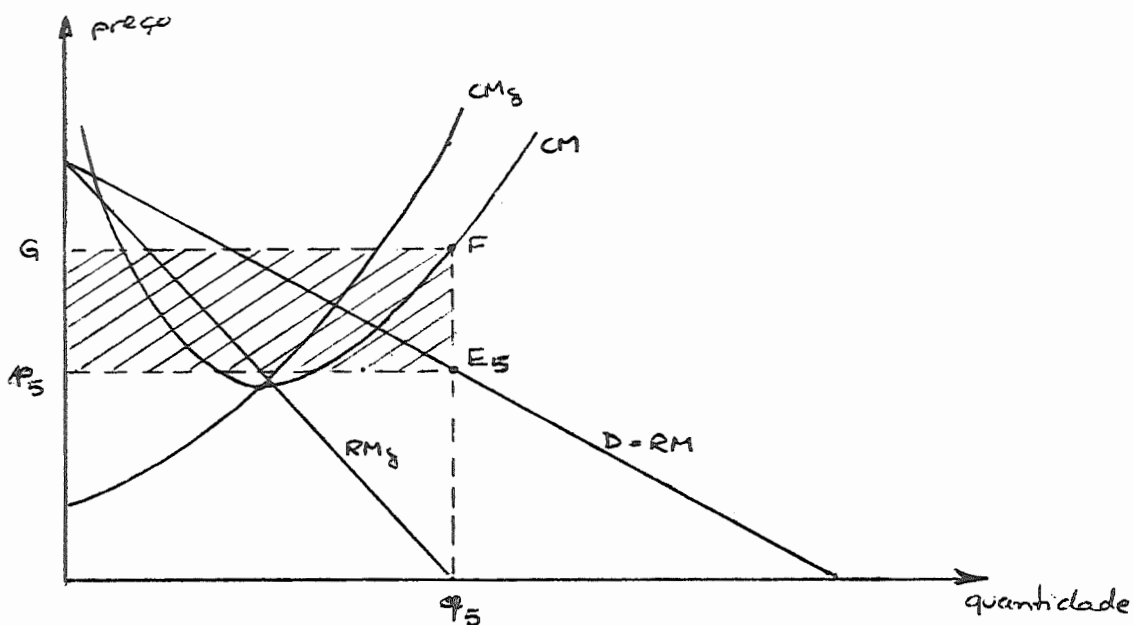
maximizar a receita total corresponde a

max RT →  $\frac{dRT}{dq} = 0$

$$\frac{dRT}{dq} = RMg \quad \therefore \quad RMg = 0$$

ou seja, produzir uma quantidade  $q_4$  correspondente ao ponto onde  $RMg = 0$ . Para essa quantidade  $q_4$  os consumidores estão dispostos a pagar  $p_4$  e portanto  $E_4$  é o ponto de equilíbrio correspondente.

Nesse caso particular, a essa condição de equilíbrio está associado um lucro igual a área  $p_4.E_4.C.D$ . É possível entretanto que esse ponto de equilíbrio conduza a um sistema de produção deficitário como é o caso do exemplo apresentado abaixo.



a área  $p_5.E_5.F.G$  corresponde ao deficit nesse caso.



Bibliografia:

1. Lancaster, Kelvin: "Introduction to Modern Micro Economics", 2<sup>nd</sup> Edition, Rand Mc Nally, Chicago, 1974.
2. de Neufville, R. and Stafford, J.H. - "Systems Analysis for Engineers and Managers". Mc Graw Hill, N.Y. 1971.
3. Meyer, John and Straszheim Mahlon, "Techniques of Transport Planning - Vol. 1 - Pricing and Project Evaluation, Brookings Institution, Washington, D.C. 1971.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS  
DEPARTAMENTO DE VIAS DE TRANSPORTE E TOPOGRAFIA - TT

STT-135 TRANSPORTES II

NOTAS DE AULA

VOLUME III

AValiação DE INVESTIMENTOS EM TRANSPORTES

PROF. JOÃO ALEXANDRE WIDMER

-SÃO CARLOS/1981-

INDICE

pag.

6. Avaliação de Investimentos em Transportes.	1
6.1. Análise de Viabilidade Econômica.	1
6.1.1. Análise Comparativa de Alternativas.	2
Bibliografia	10

## 6. AValiação DE INVESTIMENTOS EM TRANSPORTES

Existem basicamente duas classes de problemas de avaliação de investimentos.

1. Análise de Viabilidade Econômica ou Análise do "Valor" das Alternativas.
2. Análise Comparativa ou Classificação de Alternativas.

### 6.1. Análise de Viabilidade Econômica

A primeira classe de problemas de avaliação é estritamente econômico. Essencialmente a análise de viabilidade econômica é uma análise de custo-benefício, ou seja uma análise comparativa dos custos e dos benefícios de cada uma das alternativas onde todos os custos e benefícios são expressos por um valor monetário.

Diversos métodos foram propostos para realizar essa comparação, sendo os principais:

#### - Razão de Benefício-Custo

$$B/C = \frac{\text{VALOR PRESENTE DOS BENEFÍCIOS}}{\text{VALOR PRESENTE DOS CUSTOS}}$$

para que o projeto seja economicamente viável é suficiente que  $B/C > 1$ .

#### - Valor Presente Líquido

$VPL = \text{VALOR PRESENTE DOS BENEFÍCIOS} - \text{VALOR PRESENTE DOS CUSTOS}$   
em termos de viabilidade econômica ele indica com a mesma clareza da razão benefício/custo se um projeto é ou não viável economicamente, bastando verificar se  $VPL > 0$ .

#### - Taxa Interna de Retorno

Esse método consiste em calcular a taxa interna de retorno para a qual o valor presente dos benefícios iguala o valor presente dos custos.

A atração desse método de análise é que ele elimina a necessidade de estabelecer-se uma taxa de retorno para calcular os valores presente.

É suficiente nesse caso verificar se a taxa interna de retorno ultrapassa um valor previamente estabelecido.

$$i \geq i_0$$

A taxa mínima é em geral estabelecida por órgãos nacionais ou internacionais que financiarão o projeto.

Existe um aspecto intrínseco à viabilidade econômica de uma forma geral que é o problema da distribuição equitativa dos benefícios e custos.

De acordo com a fórmula de benefício/custo um projeto é economicamente desejável quando a razão B/C for maior do que 1, mesmo que todos os benefícios sejam dados as populações de renda elevada e todos os custos incorridos pela população de renda baixa. (e.g. os custos incorridos pelos cidadãos de baixa renda deslocados de uma área central da cidade para a construção de uma via expressa que beneficia o cidadão rico que utiliza transporte individual).

Como se verá adiante, estão hoje em desenvolvimento e parcialmente em uso, métodos que além de avaliar o projeto do ponto de vista estritamente econômico procuram considerar componentes subjetivos, - tais como distribuição de benefícios e custos nas diversas camadas sociais envolvidas diretamente e/ou indiretamente no projeto.

## 6.2. Análise Comparativa de Alternativas

A segunda classe de problemas visa classificar as alternativas segundo uma medida de desempenho.

Nesse contexto os três métodos apresentados em 6.1 poderiam ser utilizados, mas como veremos a seguir, apenas o método de valor presente líquido mostra-se realmente adequado para atacar essa classe de problemas. São apresentados também dois métodos adicionais comumente utilizados em problemas de análise comparativa de alternativas, ambos resultado da dificuldade maior em avaliação de alternativas, que é a de medir os benefícios em termos monetários.

### - Razão de Benefício-Custo (B/C)

Embora o método de benefício-custo seja uma medida para avaliar a viabilidade econômica de um único projeto, ele é deficiente quando empregado na análise comparativa de projetos.

Um dos problemas do método está no fato de ele não medir adequadamente a produtividade de projetos alternativos.

Suponhamos os seguintes exemplos:

- uma estrada de terra requer um investimento inicial de Cr\$ 20 milhões. O valor presente dos benefícios anuais é de Cr\$ 200 milhões e o valor presente do custo anual, incluindo-se a depreciação do investimento inicial, é de Cr\$ 190 milhões.

$$B/C = \frac{\text{Benefício Anual}}{\text{Custo Anual}}$$

$B/C \approx 1.05$  para uma vida útil de 20 anos, embora o lucro anual é igual a 50% do investimento inicial.

- um sistema de controle de enchentes com um investimento inicial de Cr\$ 20 milhões e com um valor presente total dos benefícios durante a vida do projeto estimado em Cr\$ 30 milhões e custos anuais insignificantes. A razão de benefício/custo desse segundo projeto é sem dúvida muito mais alta que a primeira, embora leve a vida útil inteira do projeto para produzir o lucro que a estrada gera em um ano.

$$B/C = 30/20 = 1.5$$

$$VPL = \text{Cr\$ } 10 \text{ milhoes}$$

Conclui-se portanto que para projetos que possuem alto custo anual de operação comparado com o investimento inicial, a razão benefício-custo tende a subestimar o valor real do projeto em termos da sua produtividade para a sociedade.

Um segundo problema do método é que é possível através de manipulações modificar a Razão Benefício-Custo.

A grande maioria dos projetos possui do lado dos custos, um custo de investimento e um custo de operação, enquanto que os benefícios totais são benefícios advindos da operação do sistema.

Tem-se portanto as seguintes alternativas de calcular a relação benefício-custo:

$$(1) \quad \frac{B}{C} = \frac{B - CO}{CI} \quad \text{onde:} \quad \begin{array}{l} B = \text{benefícios} \\ CO = \text{custo de operação} \\ CI = \text{custo de investimento} \end{array}$$
$$(2) \quad \frac{B}{C} = \frac{B}{CI + CO}$$

no caso (1) denomina-se B - CO como benefício líquido resultante da operação.

É evidente que os dois métodos conduzem a razões  $\frac{B}{C}$  distintas.

Mesmo quando aparentemente o mesmo método de cálculo é empregado na comparação de alternativas, é possível em grandes projetos de transporte considerar itens do custo operacional como investimento, e vice versa, permitindo portanto variar  $\frac{B}{C}$  de acordo com o que se deseja provar.

#### - Valor Presente Líquido (VPL)

VPL = valor presente dos benefícios - valor presente dos custos

O método do valor presente evita as deficiências apresentadas pela relação benefício/custo quando se avaliam diversas alternativas, pois indica sempre o projeto mais produtivo, pelo menos enquanto se comparam projetos com investimentos da mesma ordem de grandeza. Além disso o VPL é único, não permitindo as manipulações a que está sujeita a razão B/C.

#### - Taxa Interna de Retorno

O conceito de taxa interna de retorno também é proposta em alguns casos, como um índice de desempenho de projetos. Quanto mais elevada a taxa interna de retorno, mais desejável é um determinado projeto.

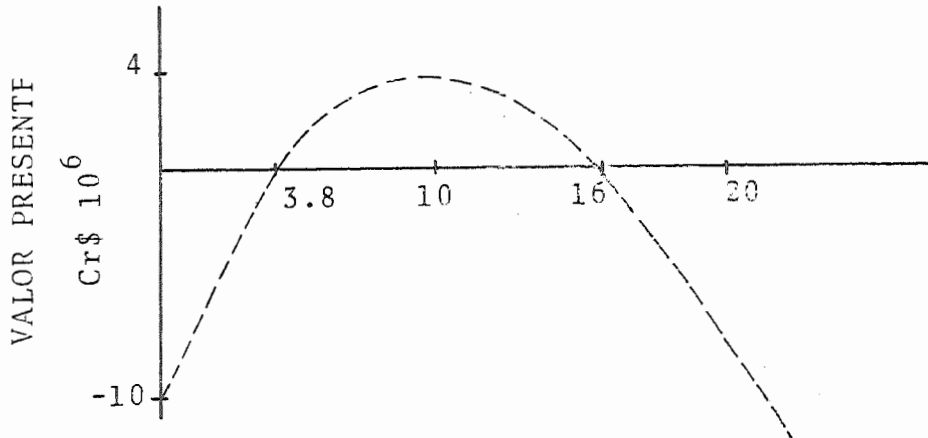
Por definição ela é a taxa de retorno à qual o valor presente dos benefícios é igual ao valor presente dos custos.

O conceito possui entretanto três deficiências que são: ele pode apresentar valores ambíguos; ele pode fornecer um valor distorcido da produtividade; ele pode alterar a ordenação de projetos estabelecida pelo critério de valor presente, que é em princípio técnica - mente o mais correto.

Valores ambíguos da taxa interna de retorno podem ser obtidos quando o projeto incorre em altos custos no final da vida operacional.

Isto poderia acontecer com um sistema que possui um bom desempenho inicial com grandes benefícios mas no fim de sua vida operacional possui um desempenho menor e um alto custo operacional, exemplo comum de diversos serviços públicos.

Considere-se uma empresa pública de mineração que demandou Cr\$ 200 milhões com o investimento inicial e Cr\$ 310 milhões no sexto ano, e criou benefícios totais de Cr\$ 500 milhões a razão de Cr\$ 100 milhões por ano no período intermediário de 5 anos. Para uma taxa de retorno igual a zero o valor presente do projeto seria igual a menos Cr\$ 10 milhões e para uma taxa de retorno infinitamente grande, o valor presente também seria negativo, e positivo para valores intermediários.



Existem portanto dois valores de taxa interna de retorno para os quais o valor presente é zero o que conduz a um resultado ambíguo.

O fato de ele fornecer um valor distorcido da produtividade ou de alterar a ordenação de projetos não é característica exclusiva do método, pois o mesmo ocorre com a razão benefício-custo.

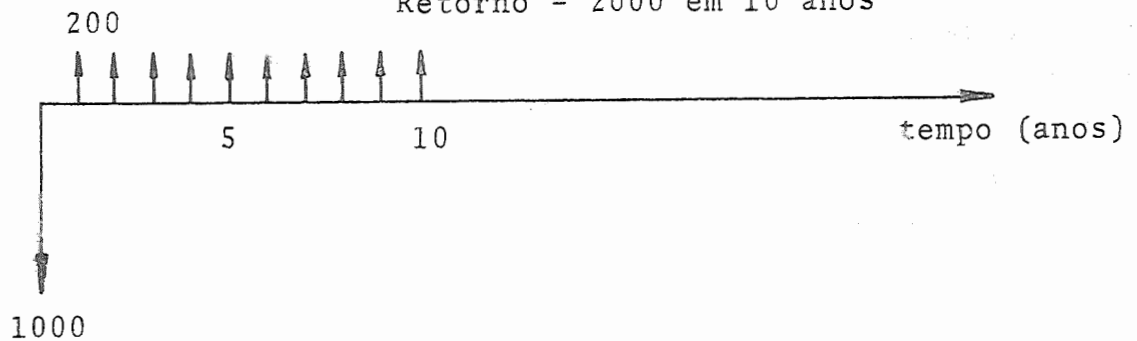
O valor distorcido da produtividade da relação benefício/custo já foi discutido anteriormente. Analisemos pois o caso da taxa interna de retorno.

Consideremos dois projetos A e B com os seguintes fluxos de investimento.

PROJETO A

Investimento inicial = 1000

Retorno = 2000 em 10 anos

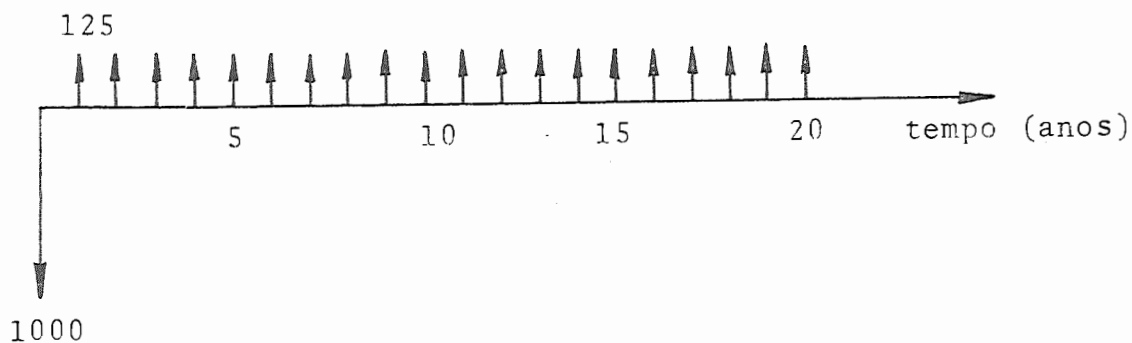




PROJETO B

Investimento inicial = 1000

Retorno = 2500 em 20 anos



PROJETO	B/C para $i=(3\% \text{ a.a})$	TAXA INTERNA DE RETORNO	VALOR PRESENTE LIQUIDO (3%)
A	1.71	$\sim 15^*$	706
B	1.86 *	$\sim 11$	860 *

\* Melhor alternativa.

Como pode-se observar dos resultados do exemplo a produtividade da alternativa B é maior que a produtividade da alternativa A, apesar de a taxa interna de retorno de A ser maior.

O caso também mostra a terceira deficiência do método, ou seja, ele não apresenta a mesma ordenação dos projetos que o método do valor presente, e nesse caso específico também da razão benefício/custo.

Da análise dos três métodos observa-se que tanto a razão benefício custo como a taxa interna de retorno são métodos deficientes para a comparação de alternativas apesar de adequadas para determinação da viabilidade econômica.

É interessante nesse ponto abrir um parêntesis para mostrar a importância da seleção da taxa de retorno sobre a produtividade de um projeto.

Utilizando os mesmos fluxos de benefícios e custos do exemplo anterior mas admitindo-se para o cálculo de B/C e VPL uma taxa de retorno de 10% a.a teremos:

Projeto	B/C i = 10% a.a	Taxa Interna de Retorno	VPL i = 10% a.a
A	1.23	-15%	229
B	1.07	-11%	65

Vê-se portanto que a escolha da taxa de retorno de projeto pode influenciar diretamente a seleção da melhor alternativa.

#### - Mínimo Custo ou Mínimo Custo Anual

Como para uma série de problemas de avaliação é muito difícil estabelecer-se um valor monetário para os benefícios, e como para uma grande parcela desses problemas pode-se admitir a priori que os benefícios advindos das diversas alternativas são da mesma ordem de grandeza, justifica-se a utilização desse método para ordenar as alternativas.

Um exemplo típico em que esse método é aplicado com sucesso é na avaliação de sistemas de transporte de cargas de baixo valor unitário tais como: carvão, minério de ferro, fertilizantes e uma série de produtos agrícolas a granel.

#### - Análise de Custo Eficiência

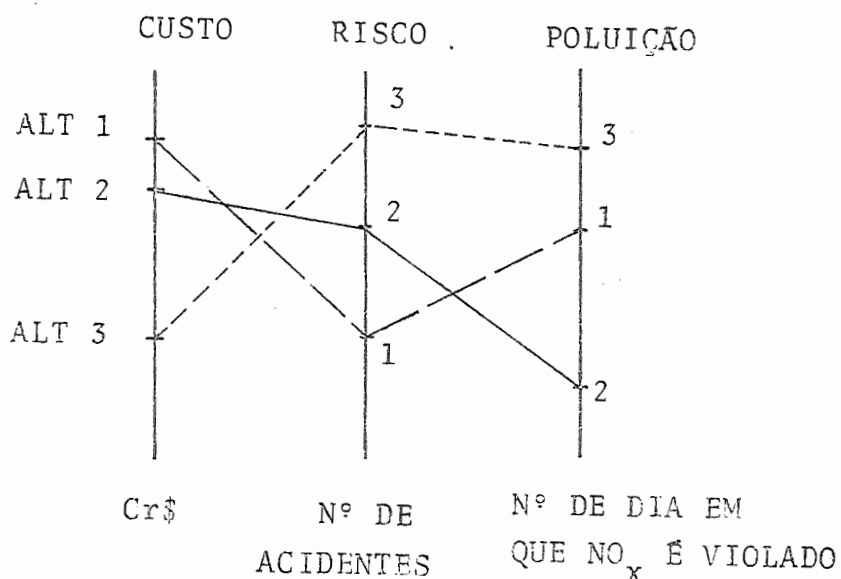
Na grande maioria dos casos de avaliação de sistemas, particularmente de complexos sistemas de transporte, os métodos econômicos puros, ou seja, onde todos os benefícios e todos os custos são expressos em um valor monetário, não são suficientemente abrangentes para permitir uma avaliação adequada das alternativas.

A análise de custo eficiência embora necessariamente apoiada em avaliações subjetivas permite incluir no esquema de avaliação diversas medidas de desempenho do sistema, que apesar de consideradas de capital importância na decisão, não podem ser adequadamente medidas em termos monetários. Poderíamos citar variáveis tais como:

- número de residências relocadas devido a construção de uma rodovia;
- ruído gerado nas regiões vizinhas de aeroportos pela operação das aeronaves;
- tempo de acesso a aeroportos;
- número de peixes mortos pela poluição de um rio;
- poluição atmosférica gerada numa área metropolitana pela operação de veículos com motor a combustão.

Dentro do conceito de análise de custo eficiência existem várias estruturas de análise sendo as principais.

- esquemas de classificação



- matriz de desempenho social

é uma estrutura semelhante a apresentada pelo esquema de classificação só que na forma matricial.

ALTERNATIVA	CUSTO	RISCO	POLUIÇÃO
PESOS	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\alpha_3$
ALT 1			
ALT 2			
ALT 3			

- matriz de desempenho social

ALTERNATIVA	CUSTO	RISCO	POLUIÇÃO
NÃO USUÁRIO			
USUÁRIO RES. CENTRAL			
USUÁRIO RES. PERIFERIA			
PESOS	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\alpha_3$
ALT 1			
ALT 2			
ALT 3			

é uma matriz semelhante a matriz de desempenho com a diferença que ela adquire mais uma dimensão com estratificação das medidas de desempenho por diversos segmentos da sociedade envolvida.

NOTA: Recomenda-se como extensão dessas notas de aula a leitura do livro de Hans Adler, bibliografia 1.

Bibliografia:

1. Adler, Hans - "Avaliação Econômica dos Projetos de Transportes", Livros Técnicos e Científicos. Rio de Janeiro, 1978.
2. de Neufville, R. and Stafford, J.H. - "Systems Analysis for Engineers and Managers", Mc Graw Hill, N.Y. 1971.
3. Meyer, John and Straszheim, Mahlon, "Techniques of Transport Planning, Vol. 1 - Pricing and Project Evaluation", Brookings Institution, Washington D.C., 1971.

## EXEMPLO DE APLICAÇÃO DO FERRAMENTAL

### CONSTRUÇÃO DE UM AEROPORTO

(exemplo adaptado de Hans Adler, Bibliografia 1)

CIDADE - 130.000 habitantes. polo de uma série de centros de população menores intimamente ligadas.

#### CARACTERÍSTICAS DO AEROPORTO NOVO

Pista de pouso - 2000 m x 45 m

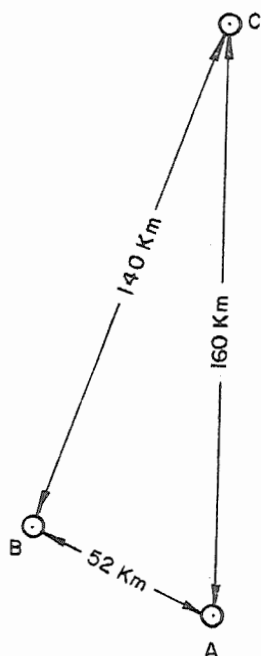
Patio de estacionamento

Pista de rolamento

Estação terminal

	energia elétrica
Serviços de	água
apoio	esgoto
	sistema de comunicação
	auxílios a navegação

#### CARACTERÍSTICA DO TRANSPORTE AÉREO ATUAL



- aeroporto em B pelo qual atualmente se processa todo o tráfego aéreo entre A e C.
- C é a capital do Estado para onde convergem todas as viagens mesmo as com destino a outros polos de desenvolvimento do país.
- transporte entre A e C de passageiros pela modalidade alternativa mais competitiva (trem) leva quase 24 horas dadas as características da rede ferroviária ligando A com C.
- a concorrência do transporte rodoviário de passageiros é desprezível dado o tempo e o custo de viagem.
- Atualmente há dois vôos diários em cada sentido entre B e C e os passageiros com origem ou destino em A utilizam onibus especiais entre A e B.
- Cerca de 75 por cento dos passageiros embarcados e desembarcados em B tem A como origem ou destino.

## CARACTERÍSTICAS DO TRÁFEGO AÉREO FUTURO

Potencial de tráfego aéreo de uma comunidade é função de fatores tais como:

população

características econômicas - nível de renda  
- tipo de setor da economia  
mais desenvolvido

características dos meios de transporte concorrentes.

No caso específico da comunidade em A pesquisas de tráfego entre os passageiros atuais mostraram que 1/2 são empregados no setor terciário e viajam a negócios com renda de \$ 9,00/hora (\$1500/mês) - 1/4 são empresários viajando a negócios com renda \$ 25/hora (\$ 5000/mês) - 1/4 são pessoas que viajam por razões outras que o trabalho.

Não se visualiza para o horizonte de vida do aeroporto - uma modificação das características do sistema de transporte ferroviário e rodoviário de passageiros que venha a afetar significativamente a demanda por transporte aéreo.

Assim sendo, propôs-se um modelo de demanda de tendência de crescimento, baseado em observações históricas do crescimento de tráfego nessa ligação e em ligações semelhantes existentes no país.

Atualmente as duas viagens redondas entre B e C transportam em média 76 pax/dia ou 28000 pax/ano.

No passado recente graças ao grande desenvolvimento econômico da região observaram-se taxas de crescimento anual de 20% a.a. Espera-se, baseando-se em experiência com outras ligações e no potencial de desenvolvimento da região que essa tendência se mantenha nos próximos 8 anos caindo para 10% a.a nos dez anos seguintes e para 5% a.a daí em diante.

A tabela 1 apresenta as projeções de tráfego aéreo da região.

ano	passageiros por dia	passageiros por ano	nº de frequências diárias
base	76	28000	2
3	130	48000	2
7	230	83000	4
12	370	134000	5
17	590	216000	8
22	750	275000	10

Admitiu-se que no horizonte de vida do aeroporto a estrutura de ligações aéreas com a capital permanecerá inalterada e que serão empregadas aeronaves com características tecnológicas semelhante à atual em termos de velocidade e custo operacional.

Como se viu anteriormente a composição atual do tráfego aéreo regional é 25% de pax de B e 75% de pax de A.

Considerando-se que o crescimento de A é mais acentuado - que o de B calcula-se que a proporção do tráfego de A aumente gradualmente até 85% com a consequente queda de participação de B para 15%.

Dada a pequena parcela de tráfego de B e das condições do aeroporto existente o operador deverá abandonar a operação em B a partir da inauguração do novo aeroporto em A.

### CUSTOS

custos de capital do novo aeroporto \$  $11 \times 10^6$ .

componente em moeda estrangeira \$  $4 \times 10^6$ .

admitindo-se coeficiente de 1.75 à taxa de cambio oficial tem-se:

$$\text{custos de capital } 7 \times 10^6 + 1.75 \times 4 \cdot 10^6 = 14 \times 10^6$$

tempo de construção - 2 anos

vida do projeto - 20 anos

valor residual - zero

valor residual do aeroporto antigo incluindo equipamento que pode ser reutilizado -  $5 \times 10^6$

custos anuais de operação e manutenção do novo aeroporto - da mesma ordem de grandeza do antigo aeroporto em B; como eles serão poupados com o abandono de B a análise econômica pode excluir esses custos.

aumento do custo de vôo

distância AC é 20 quilômetros maior que BC.

tempo de vôo entre B e C - 45 minutos

tempo de vôo estimado entre A e C - 49 minutos.

### MODELO DE CUSTO OPERACIONAL DO AVIÃO TIPO USADO NA LINHA

custo por hora - \$ 1400

custo marginal das quatro minutos \$ 60

aumento dos custos por tempo de vôo/ano = freq. x 365 x

\$ 60 x 2



BENEFÍCIOS

Os benefícios do novo aeroporto consistirão, essencialmente nos ganhos de tempo e na redução dos custos de transporte rodoviário para a maioria dos usuários do transporte aéreo.

1. GANHO DE TEMPO

Situação atual de A para C	tempo (minutos)
Da residência ao terminal rodoviário em A	15
Despacho da bagagem em A	10
Viagem de onibus entre A e C	60
Embarque em C	20
Vôo entre B e C	45
Liberação da bagagem em C	10
Do aeroporto do destino em C	<u>20</u>
	180

Situação futura de A para C

Da residência ao aeroporto em A	20
Embarque em A	20
Vôo entre A e C	49
Liberação da bagagem em C	10
Do aeroporto ao destino em C	<u>20</u>
	119

Ganho de aproximadamente uma hora/passageiro

Situação atual de B para C

Da residência ao aeroporto em B	15
Embarque em B	20
Vôo entre B e C	45
Liberação da bagagem em C	10
Do aeroporto ao destino em C	<u>20</u>
	110

Situação futura de B para C	tempo (minutos)
Da residência ao terminal rodoviário em B	10
Despacho da bagagem em B	10
Viagem de ônibus entre B e A	60
Embarque em A	20
Vôo entre A e C	49
Liberação da bagagem em C	10
Do aeroporto ao destino em C	<u>20</u>
	179

Perda aproximada de uma hora e dez minutos/passageiros

então:

1º ano -  $0,75 \times 48000 = 36000$  pax ganham uma hora

e -  $0,25 \times 48000 = 12000$  pax perdem uma hora e dez

-  $\approx 14000$  horas perdidas

. . . ganho líquido é de 22000 horas no 1º ano.

Por raciocínio análogo no 22º ano.

$0,85 \times 275000 \times 1 = 233000$  horas

menos  $0,15 \times 275000 \times 1,1 = 45375$  horas o que representa um ganho líquido de aproximadamente 187600 horas.

OBS: os valores intermediários foram calculados de forma análoga.

VALOR DO TEMPO

Admitiu-se que:

- para os passageiros que viajam a negócios o valor do tempo está diretamente relacionado com a sua renda.

1/2 dos pass. tem valor do tempo = \$ 9/hora

1/2 dos pass. tem valor do tempo = \$ 25/hora

- para os passageiros restantes o valor do tempo é igual ao valor que eles estão dispostos a pagar a mais pelo transporte aéreo em relação a segunda melhor alternativa.

- a atual diferença de tarifas revela que para esse grupo de passageiros o valor do tempo é da ordem de \$ 1/hora.

Assim sendo o valor médio do tempo por passageiro é da or dem de \$ 12/hora.

Não se incluiu no estudo nenhuma hipótese de aumento da renda ou do valor do tempo durante a vida do projeto pela carência de dados mais precisos.

Partindo-se dessa dado obtém-se:

valor dos ganhos de tempo

$$1^{\circ} \text{ ano} - 22000 \times 12 = \$ 0,26 \times 10^6$$

$$22^{\circ} \text{ ano} - 187600 \times 12 = \$ 2,24 \times 10^6$$

OBS: os valores intermediários foram calculados de forma análoga.

## 2. REDUÇÃO DOS CUSTOS DE TRANSPORTE RODOVIÁRIO - SITUAÇÃO ATUAL

viagens entre A e B em onibus especiais fretados.

custos econômicos da operação atual de onibus entre A e B \$ 0,36/veículo.km para a situação atual 2 vôos por dia por sentido tem-se 2 viagens redondas de onibus - 209 km.

$$\$ 75/\text{dia} - \text{Cr\$ } 27500/\text{ano}$$

com o aumento das frequências de vôos diários aumentaria também o custo do transporte rodoviário atingindo \$ 110000 no último ano de vida.

Situação com Aeroporto em A

passageiros de B terão que viajar para A por via rodoviária.

esse custo será entretanto menor pois o tráfego poderá ser atendido por micro-onibus com custos econômicos de operação de \$ 0,20/veic.km.

A economia resultante é de \$ 0,16/veic.km ou \$ 12400 para as 730 viagens redondas no 1º ano de serviço do novo aeroporto e aumentará proporcionalmente à frequência de serviço.

CUSTOS E BENEFÍCIOS DA CONSTRUÇÃO DO NOVO AEROPORTO

( EM \$ x 10<sup>6</sup> )

ANO	CUSTOS			BENEFÍCIOS			VALOR ATUAL		TAXA INTERNA DE RETORNO	
	CUSTOS CAPITAL	AUMENTO DOS CUSTOS DE TEMPO VÔO	CUSTOS TOTAIS	GANHOS DE TEMPO	REDUÇÃO DOS CUSTOS DO TRANSPORTE RODOVIARIO	BENEFÍCIOS TOTAIS	CUSTOS	BENEFÍCIOS	CUSTOS	BENEFÍCIOS
TAXA DE DESCONTO 12% a.a							TAXA DE DESCONTO 5% a.a			
1	4.20	-	4.20	-	-	-	4.20	-	4.20	-
2	9.80	-	9.80	-	-	-	8.75	-	9.33	-
3	-5.00	0.08	-4.92	0.26	0.01	0.27	-3.92	0.21	-4.46	0.24
4	-	0.13	0.13	0.30	0.02	0.32	0.09	0.22	0.09	0.22
5	-	0.13	0.13	0.39	0.02	0.41	0.08	0.26	0.08	0.34
6	-	0.13	0.13	0.42	0.02	0.44	0.07	0.25	0.08	0.34
7	-	0.17	0.17	0.47	0.02	0.49	0.08	0.25	0.13	0.36
8	-	0.17	0.17	0.50	0.02	0.52	0.07	0.23	0.12	0.37
9	-	0.17	0.17	0.56	0.02	0.58	0.06	0.23	0.11	0.39
10	-	0.21	0.21	0.62	0.03	0.65	0.07	0.23	0.13	0.42
11	-	0.21	0.21	0.66	0.03	0.69	0.06	0.22	0.13	0.42
12	-	0.21	0.21	0.74	0.03	0.77	0.06	0.22	0.12	0.45
13	-	0.26	0.26	1.01	0.04	1.05	0.06	0.26	0.14	0.58
14	-	0.26	0.26	1.11	0.04	1.15	0.06	0.26	0.14	0.61
15	-	0.30	0.30	1.22	0.04	1.26	0.06	0.25	0.15	0.64
16	-	0.35	0.35	1.34	0.05	1.39	0.06	0.25	0.17	0.67
17	-	0.35	0.35	1.47	0.05	1.52	0.05	0.27	0.16	0.70
18	-	0.39	0.39	1.84	0.05	1.89	0.05	0.26	0.17	0.82
19	-	0.39	0.39	1.92	0.05	1.97	0.05	0.22	0.16	0.82
20	-	0.43	0.43	2.03	0.06	2.09	0.05	0.20	0.17	0.83
21	-	0.43	0.43	2.12	0.06	2.18	0.04	0.20	0.16	0.82
22	-	0.43	0.43	2.24	0.06	2.30	0.03	0.19	0.15	0.82
							10.25	4.75	11.63	10.91

VALOR PRESENTE LIQUIDO = - 5.50

$$\text{VPL} = -\$ 5.5 \times 10^6$$

para taxa de retorno de 12% a.a

$$\text{B/C} = 0,5$$

#### ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

Considerando o grande excesso do custo sobre os benefícios é improvável que incertezas na determinação dos custos e/ou benefícios modifiquem a conclusão de que o projeto é economicamente inviável.

Exemplos:

- diminuição de 25% dos custos -  $\text{VPL} \approx -\$ 2 \times 10^6$

- valor de tempo 50% superior que o estimado -  $\text{VPL} \approx -\$ 3 \times 10^6$

a única possibilidade de tornar o projeto economicamente viável seria o de aceitar uma taxa de retorno inferior a 12%, possivelmente < 5% a.a o que é difícil nesse tipo de projeto.