

Avaliação de Projetos na Gestão de Pavimentos

Prof. Dr. Claudio Barbieri da Cunha
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Transportes

Prof. Dr. Claudio Barbieri da Cunha - Escola Politécnica da USP - Depto de Engenharia de Transportes - set/2011

Programa

- **Custos Econômico-Financeiros; taxas de desconto;
Valor Presente Líquido**
- **Custos dos Usuários: consumo, manutenção, tempos
de viagem**

Para que serve na Gestão de Pavimentos?

Prof. Dr. Claudio Barbieri da Cunha - Escola Politécnica da USP - Depto de Engenharia de Transportes - set/2011

Para que fazer avaliação econômica?

- Suponha que você foi escolhido para implantar um programa de recuperação de vias em uma grande cidade, com um orçamento de R\$ 20 milhões por ano
- O que fazer com esse \$\$\$?
- Como escolher quais vias recuperar?
- Qual a melhor alternativa de recuperação em cada trecho?
- Como assegurar à sociedade que o recurso esteja sendo aplicado da melhor forma possível?

Prof. Dr. Claudio Barbieri da Cunha - Escola Politécnica da USP - Depto de Engenharia de Transportes - set/2011

Motivação

- Avaliação econômica de projetos é uma atividade integrante e ***importante*** da Gestão de Pavimentos:
 - Manutenção de Rodovias/Vias
 - Recuperação de Rodovias/Vias
 - Duplicação/Ampliação de Capacidade de Rodovias
 - Pavimentação de Rodovias
 - Construção de Rodovias
- Indispensável quando envolve financiamento por organismos internacionais:
 - BIRD
 - BID
 -
- Exemplos

Prof. Dr. Claudio Barbieri da Cunha - Escola Politécnica da USP - Depto de Engenharia de Transportes - set/2011

Avaliação econômica de projetos: motivação

- **Selecionar projetos que contribuam para o bem-estar social (*welfare*):**
 - população de um bairro, cidade, região, estado, ...
- **Medir e avaliar custos e benefícios econômicos e sociais (“bem estar social”)**

Prof. Dr. Claudio Barbieri da Cunha - Escola Politécnica da USP - Depto de Engenharia de Transportes – set/2011

Responder às seguintes perguntas ...

- **O projeto é a melhor alternativa ?**
 - Há outras alternativas ? Técnicas, institucionais, políticas ?
 - Diferentes beneficiários ?
 - Diferentes prazos e cronogramas de desembolso ?
 - Quais os custos e benefícios de outras alternativas ?
- **O que vai acontecer se o projeto for implantado ? E se não for ?**
 - Impactos nos diversos segmentos da sociedade
 - A diferença nas situações SEM e COM o projeto é a base para a avaliação dos custos e benefícios adicionais decorrentes do projeto.

Prof. Dr. Claudio Barbieri da Cunha - Escola Politécnica da USP - Depto de Engenharia de Transportes – set/2011

Análise de Custo no Ciclo de Vida

- **Life Cycle Cost Analysis (LCCA)**

- **Análise econômica**

- Comparar alternativas de projeto (pavimentação) e restauração/recuperação/reabilitação de pavimentos
- Considera todos os custos relevantes
- Avalia as alternativas considerando o mesmo período de análise
 - Período de tempo suficientemente longo para que todos os custos possam ocorrer e ser avaliados corretamente

Prof. Dr. Claudio Barbieri da Cunha - Escola Politécnica da USP - Depto de Engenharia de Transportes - set/2011

Box A2.1 Terminology

The following terminology is used in this report:

- **VOC – Vehicle Operating Costs:** The total cost of road transport. Comprised primarily of fuel, tyre, parts, labour, oil and capital costs. It may also include travel time and crew costs.
- **RUE – Road User Effects:** Similar to VOC, but RUE also encompass other components traditionally missed—such as emissions and safety. In HDM-4 RUE has been adopted as the standard terminology.
- **RUC – Road User Costs:** The costs which arise when the components of the RUE are assigned monetary values.
- **RDWE – Road Deterioration and Works Effects:** Encompasses pavement deterioration and the effects of works improvements. The latter include maintenance as well as improvements such as widening.

Prof. Dr. Claudio Barbieri da Cunha - Escola Politécnica da USP - Depto de Engenharia de Transportes - set/2011

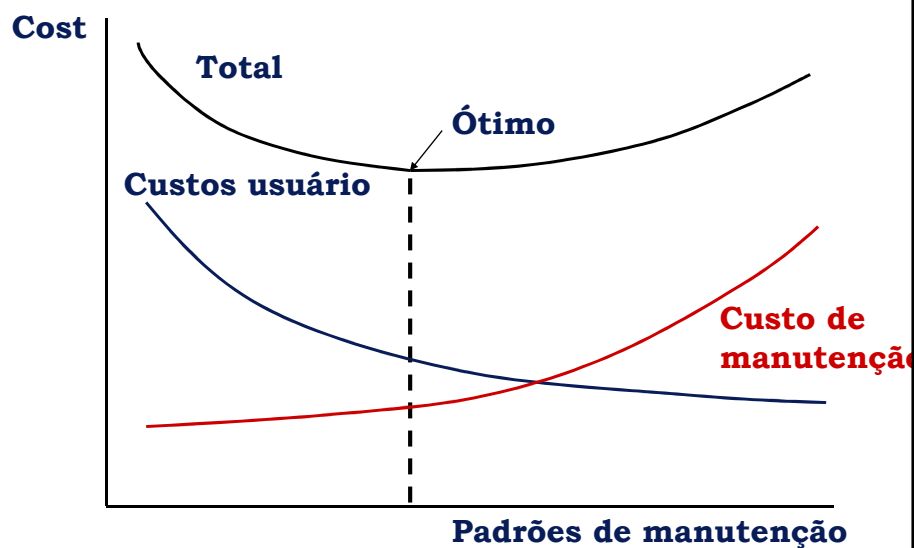


HDM-4

- ✦ Prevê desempenho da via em função
 - ▣ Volumes de tráfego e carregamento dos veículos
 - ▣ Tipo de pavimento e estrutura/resistência
 - ▣ Padrões de manutenção
 - ▣ Environment / Climate
- ✦ Quantifica benefícios para o usuário de:
 - ▣ Economias em custos operacionais dos veículos (VOC)
 - ▣ Menores tempos de viagem
 - ▣ Redução do número de acidentes
 - ▣ Efeitos ambientais



Condição de otimizabilidade





Custos no Ciclo de Vida

- ✦ Custos do órgão rodoviário
 - ▣ Gestão e operação
 - ▣ MO, equipamentos, materiais
 - ▣ Desapropriação
 - ▣ Manutenção e reabilitação
- ✦ Custos dos usuários
 - ▣ Operação dos veículos
 - ▣ Tempos de viagem
 - ▣ Acidentes

Exemplo

Alternativa 1



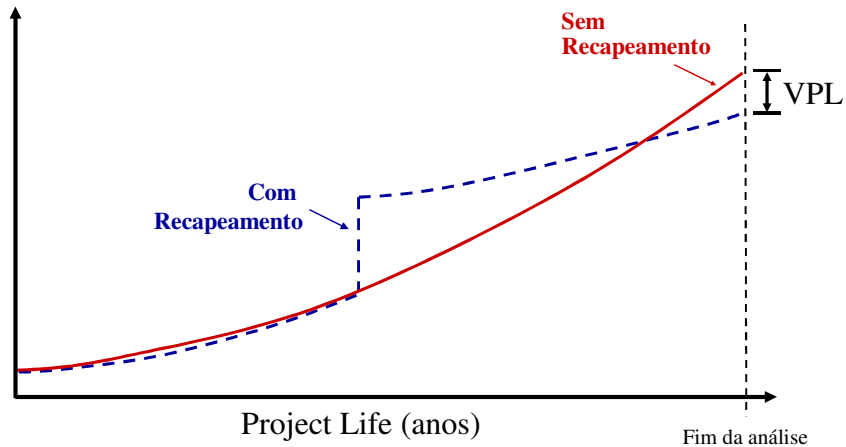
Alternativa 2





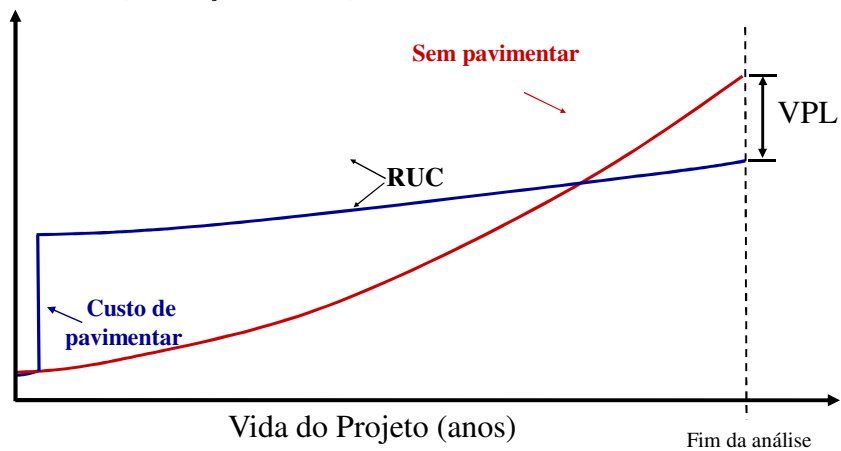
Comparação de alternativas

Custo Rodoviário anual
descontado (manutenção + usuários)



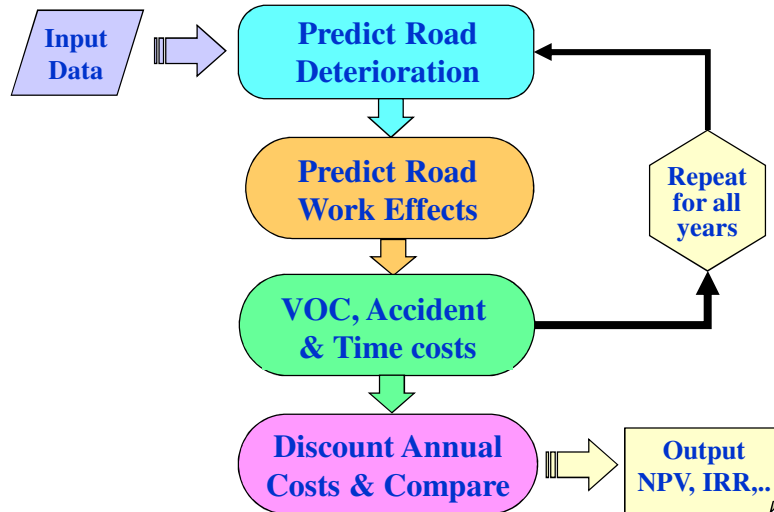
Comparação de alternativas

Custo Rodoviário anual
descontado (manutenção + usuários)



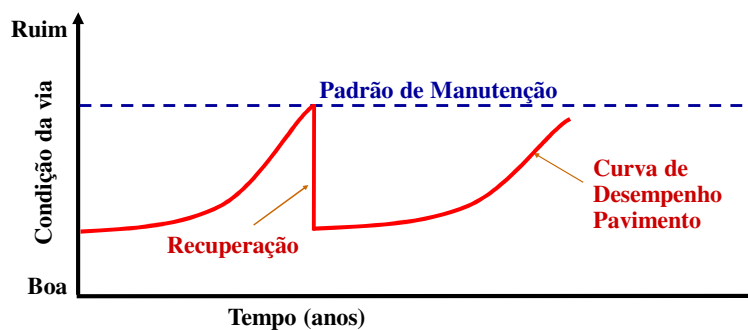


Análise no Ciclo de Vida



Previsão da deterioração

- ✦ Prever desempenho do pavimento ao longo do tempo
- ✦ Prever efeitos da manutenção
- ✦ Estimar custos anuais dos usuários e do órgão rodoviário

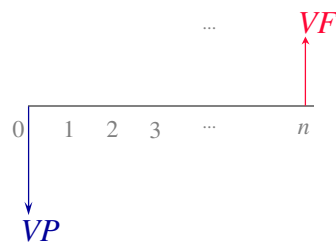


Importância da Análise de Custo no Ciclo de Vida

- **Permite considerar todos os custos**
 - Custos do órgão ou concessionária rodoviária
 - Custos dos usuários
- **Estratégias alternativas podem ser comparadas**
 - em uma base equivalente
 - baseadas nas hipóteses formuladas
- **Permite identificar a melhor alternativa do ponto de vista econômico**

Prof. Dr. Claudio Barbieri da Cunha - Escola Politécnica da USP - Depto de Engenharia de Transportes - set/2011

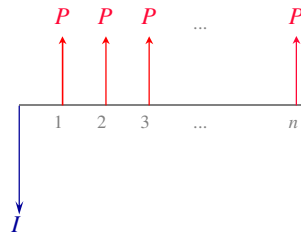
Grandezas Financeiras no Tempo



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

Prof. Dr. Claudio Barbieri da Cunha - Escola Politécnica da USP - Depto de Engenharia de Transportes - set/2011

Grandezas Financeiras no Tempo



Série uniforme

$$P = I \times FRC$$

$$FRC = \frac{j(1+j)^n}{(1+j)^n - 1}$$

Prof. Dr. Claudio Barbieri da Cunha - Escola Politécnica da USP - Depto de Engenharia de Transportes - set/2011

Taxa de Desconto j

- **Custo do dinheiro no tempo**
- **Aproximadamente equivalente à taxa de juros menos taxa de inflação**
- **Considera valores constantes ao longo do tempo**
 - Preços e custos futuros não variam em valores monetários (preço da gasolina = \$ 2.50/l)
 - Custo do dinheiro no tempo (investir \$1M hoje $\neq$ \$1M em 2008)
- **Valores típicos utilizados em projetos de avaliação econômica: 10-12% ao ano**

Prof. Dr. Claudio Barbieri da Cunha - Escola Politécnica da USP - Depto de Engenharia de Transportes - set/2011

Efeitos da Taxa de Desconto

- **Custo de oportunidade de capital**
- **Custos que ocorrem antes tem impacto maior**
- **Custos futuros tem impacto menor**

Prof. Dr. Claudio Barbieri da Cunha - Escola Politécnica da USP - Depto de Engenharia de Transportes – set/2011

Salvage Cost

- **Custo residual**
- **Ao final da vida útil**

Prof. Dr. Claudio Barbieri da Cunha - Escola Politécnica da USP - Depto de Engenharia de Transportes – set/2011

Crêterios de Avaliação Econ mica

- **Valor Presente Líquido (VPL ou NPV)**

$$VPL = \sum_{n=0}^N \frac{B_n - C_n}{(1+j)^n}$$

- **Taxa interna de retorno (TIR ou IRR)**

custo de oportunidade de capital (taxa j) tal que $VPL = 0$

$$VPL = \sum_{n=0}^N \frac{B_n - C_n}{(1+j)^n} = 0$$

Prof. Dr. Claudio Barbieri da Cunha - Escola Politécnica da USP - Depto de Engenharia de Transportes - set/2011

Outros Crêterios de Avaliação Econ mica

- **Benefício Total (\$)**
- **Diferença Benefício-Custo (\$ não descontado)**
- **Relação Benefício-Custo (B/C)**

$$B/C = \sum_{n=0}^N \frac{B_n}{(1+j)^n} \bigg/ \sum_{n=0}^N \frac{C_n}{(1+j)^n}$$

Prof. Dr. Claudio Barbieri da Cunha - Escola Politécnica da USP - Depto de Engenharia de Transportes - set/2011

Outros Critérios de Avaliação Econômica

- Valor Presente Líquido pelo Investimento

$$\frac{VPL}{I} = \frac{\sum_{n=0}^N \frac{B_n - C_n}{(1+j)^n}}{I}$$

Prof. Dr. Claudio Barbieri da Cunha - Escola Politécnica da USP - Depto de Engenharia de Transportes - set/2011

Fluxo de caixa

Projeto	Ano										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	-100	2	10	15	20	30	35	38	35	25	15
B	-90	5	15	25	30	34	30	22	15	10	5
C	-50	2	8	12	15	20	22	18	10	8	5

Fluxo de caixa descontado

Projeto	Ano										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	-100	1,8	8,3	11,3	13,7	18,6	19,8	19,5	16,3	10,6	5,8
B	-90	4,5	12,4	18,8	20,5	21,1	16,9	11,3	7,0	4,2	1,9
C	-50	1,8	6,6	9,0	10,2	12,4	12,4	9,2	4,7	3,4	1,9

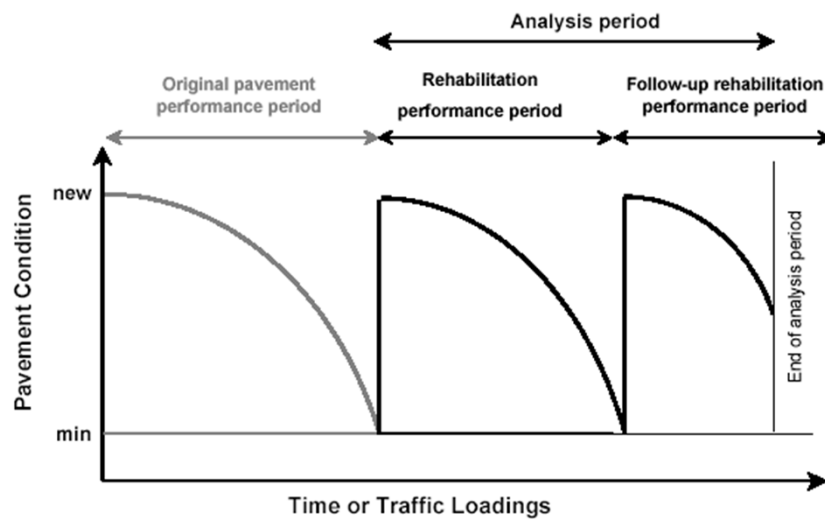
Projeto	Custo	Benefício	VPL	B/C	TIR
A	100	125,6	25,6	1,26	14,4%
B	90	118,7	28,7	1,32	16,7%
C	50	71,8	21,8	1,44	18,2%

Período de Análise

- Fundamental para a avaliação econômica
- Período de tempo no qual todos os custos são comparados
- A fim de possibilitar comparação de alternativas
- Deve ser longo o suficiente
 - para refletir diferenças de custo
 - ocorrer uma intervenção de uma política que se pretende analisar

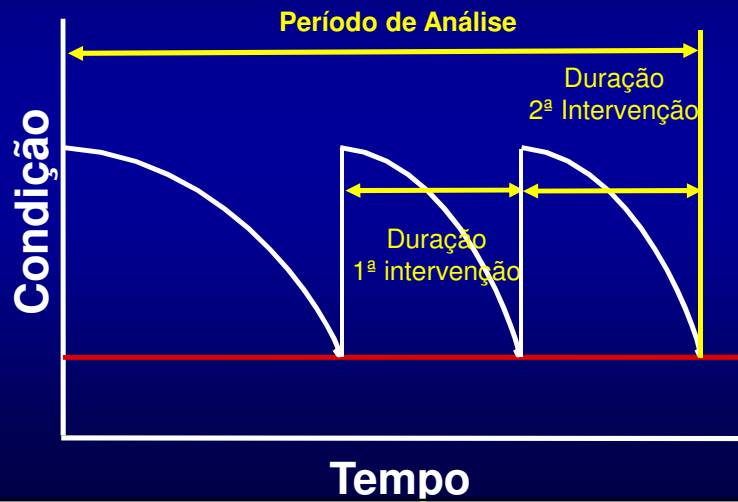
Prof. Dr. Claudio Barbieri da Cunha - Escola Politécnica da USP - Depto de Engenharia de Transportes - set/2011

Período de Análise



Prof. Dr. Claudio Barbieri da Cunha - Escola Politécnica da USP - Depto de Engenharia de Transportes - set/2011

Período de Análise



Período de Análise

- Banco Mundial, BID: 25-30 anos
- FHWA (Federal Highway Administration): 35 anos

Exemplo

Alt #1

- Investimento = \$1.2 M
- Manutenção cada 2 anos= \$65,000
- Intervenção no ano 10 = \$250,000
- Intervenção no ano 15 = \$450,000

Alt #2

- Investimento = \$1.5 M
- Manutenção cada 10 anos = \$65,000
- Intervenção no ano 15 = \$250,000

Considerar um período de análise de 20 anos e uma taxa de desconto de 4%.

ANALISE DE ALTERNATIVAS

taxa de desconto $j = 4\%$

ALT 1

Ano	Custo	FVP	Custo Descontado
0	1200	1,000	1200,00
2	65	0,925	60,10
4	65	0,855	55,56
6	65	0,790	51,37
8	65	0,731	47,49
10	315	0,676	212,80
12	65	0,625	40,60
14	65	0,577	37,54
15	450	0,555	249,87
16	65	0,534	34,70
18	65	0,494	32,09
20	65	0,456	29,67
			2051,79

ALT 2

Ano	Custo	FVP	Custo Descontado
0	1500	1,000	1500,00
10	65	0,676	43,91
15	250	0,555	138,82
20	65	0,456	29,67
			1712,39

ANALISE DE ALTERNATIVAS

taxa de desconto $j = 12,78\%$

ALT 1

Ano	Custo	FVP	Custo Descontado
0	1200	1,000	1200,00
2	65	0,786	51,10
4	65	0,618	40,17
6	65	0,486	31,58
8	65	0,382	24,83
10	315	0,300	94,59
12	65	0,236	15,34
14	65	0,186	12,06
15	450	0,165	74,04
16	65	0,146	9,48
18	65	0,115	7,45
20	65	0,090	5,86
			1566,51

ALT 2

Ano	Custo	FVP	Custo Descontado
0	1500	1,000	1500,00
10	65	0,300	19,52
15	250	0,165	41,14
20	65	0,090	5,86
			1566,51

Prof. Dr. Claudio Barbieri da Cunha - Escola Politécnica da USP - Depto de Engenharia de Transportes - set/2011

Alternativas a serem avaliadas

• Situação COM o projeto

Situação SEM o projeto

(medir custos e benefícios adicionais com o projeto)

• Avaliar separadamente componentes que são separáveis

– Exemplo: hidroelétrica

- geração de energia (GE), irrigação (Irr), lazer e turismo (L&T)
 - GE, Irr, L&T individualmente
 - GE + Irr
 - GE + L&T
 - Irr + L&T

Prof. Dr. Claudio Barbieri da Cunha - Escola Politécnica da USP - Depto de Engenharia de Transportes - set/2011

Benefícios sócio-econômicos

- **Vale a pena investir?**
 - Há retorno para a sociedade?
- **Como medir o retorno de projetos na área rodoviária para a sociedade?**
- **Quais os principais benefícios em projetos rodoviários?**
 - Redução do custo operacional dos veículos
 - Menor custo/km
 - Menor distância percorrida
 - Redução do tempo de viagem de usuários e cargas
 - Redução de acidentes
 - Atividade econômica (renda, saúde, produtos mais baratos, etc...)

Prof. Dr. Claudio Barbieri da Cunha - Escola Politécnica da USP - Depto de Engenharia de Transportes - set/2011

Montagem do Fluxo de Caixa

- **Custos e receitas financeiras**
 - Análise sob a ótica do empreendedor / operador
 - Viabilidade financeira do empreendimento
 - Retorno do investimento e dos custos operacionais
 - Ponto de partida para a avaliação econômica

Prof. Dr. Claudio Barbieri da Cunha - Escola Politécnica da USP - Depto de Engenharia de Transportes - set/2011

Montagem do Fluxo de Caixa

- **Custos e benefícios econômicos**

- Envolve aspectos que não representam necessariamente dispêndios ou receitas financeiras para o responsável pelo projeto
 - Exemplo: redução de acidentes
- Foco: custos de oportunidade para a sociedade
 - Pagamento de impostos pelo empreendedor representa apenas transferência de recursos

Prof. Dr. Claudio Barbieri da Cunha - Escola Politécnica da USP - Depto de Engenharia de Transportes – set/2011

Custos Econômicos

- **Diferente dos preços pagos pelo empreendedor**
- **Considera valores reais dos custos de M.O., insumos, produtos, serviços, sem distorções:**
 - Subsídios (transferência entre setores e não uso de recursos)
 - exemplos: óleo diesel
financiamento à exportação
 - Impostos, Tarifas, Sobretaxas
 - Serviços públicos: Custos para a sociedade superiores a tarifas cobradas
 - Água
 - Transporte (ex: metrô)
 - Rodovias
 - Monopólios (reserva de informática, preços de autos)
 - Controle de preços e de câmbio
 - Salário mínimo $\times$ Desemprego

Prof. Dr. Claudio Barbieri da Cunha - Escola Politécnica da USP - Depto de Engenharia de Transportes – set/2011

Outros aspectos

• Externalidades

- Decorrências da implantação do projeto (custos e benefícios) que não podem ser apropriadas diretamente pelo projeto:
 - Valorização ou desvalorização de imóveis com a implantação do projeto
 - Redução ou aumento da poluição
 - Aumento de manutenção nos imóveis devido ao tráfego (vibrações, etc.)
 - Poluição
 - Doenças
 - Aumento do turismo

• Componente em moeda estrangeira

- Impactos na importação/exportação, na balança de pagamentos e no câmbio

Prof. Dr. Claudio Barbieri da Cunha - Escola Politécnica da USP - Depto de Engenharia de Transportes - set/2011

Análise de Sensibilidade

• Levar em consideração incertezas quanto ao futuro

- Demanda
- Custos
- Preços
- Receitas
- Atrasos na construção do Projeto

• Diversas Alternativas

Custo	Benefício	TIR(%)
100	100	30
100	90	25
100	80	20
110	100	27
120	100	22
120	80	16

Prof. Dr. Claudio Barbieri da Cunha - Escola Politécnica da USP - Depto de Engenharia de Transportes - set/2011

Desvantagens da análise de sensibilidade

- **Não leva em conta:**
 - Probabilidade de ocorrência de eventos
 - Correlação entre variáveis
- **Variações % de custos e benefícios não tem representatividade real em termos das variáveis do problema**
- **Técnicas sofisticadas de análise de risco**
 - Análise estocástica (simulação de Monte Carlo)

Prof. Dr. Claudio Barbieri da Cunha - Escola Politécnica da USP - Depto de Engenharia de Transportes - set/2011

Previsão de Demanda em Projetos de Transporte

- **Projeção do tráfego**
 - Tráfego normal
 - Tráfego gerado (aumento de tráfego decorrente da diminuição de custo)
 - Tráfego desviado
- **Crescimento do Tráfego**
 - Baseado em previsões de crescimento econômico (PIB)
 - Análise de série históricas
- **Cenários**
 - Otimista
 - Provável
 - Pessimista

Prof. Dr. Claudio Barbieri da Cunha - Escola Politécnica da USP - Depto de Engenharia de Transportes - set/2011

Custos dos Usuários

- *User costs*
- Custos da alternativa sob análise que são incorridos pelos usuários de uma rodovia
- ao longo do período de análise
- e que podem ser expressos em valores monetários

Prof. Dr. Claudio Barbieri da Cunha - Escola Politécnica da USP - Depto de Engenharia de Transportes - set/2011

Categorias de Custos dos Usuários

- **Custos operacionais dos veículos**
 - Combustível, óleos, rodagem, manutenção, depreciação, etc.
- **Custos de Atrasos**
 - Velocidade reduzida ou uso de rotas alternativas
- **Custos de Acidentes**
- **Separados por grupos de usuários / tipos de veículos**
 - Automóveis, caminhões carregados e vazios, ônibus

Prof. Dr. Claudio Barbieri da Cunha - Escola Politécnica da USP - Depto de Engenharia de Transportes - set/2011

Redução de Custos Operacionais dos Veículos

- **Principais parcelas:**

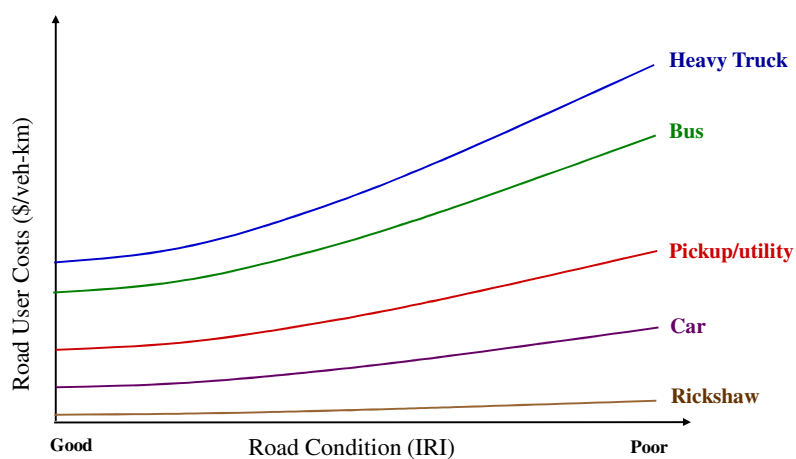
- Combustível
- Pneus
- Óleos
- Manutenção de Veículos (peças e MO)
- Desgaste (depreciação econômica)

- **Função:**

- Geometria da via (rampas, curvas, etc.)
- Condições da via & estado da superfície do revestimento
 - Pavimentada e não pavimentada
 - Qualidade de rolamento (irregularidade)

Prof. Dr. Claudio Barbieri da Cunha - Escola Politécnica da USP - Depto de Engenharia de Transportes - set/2011

Condição da Via x Custos dos Veículos



Prof. Dr. Claudio Barbieri da Cunha - Escola Politécnica da USP - Depto de Engenharia de Transportes - set/2011

Redução de tempo de viagem

- **Reflexos:**
 - Aumento de demanda
 - Maior disponibilidade para pagar mais pelo transporte
- **Quantificação dos benefícios depende da finalidade da viagem**
 - Motivo trabalho (custo da MO)
 - Outros motivos: valores menores, as vezes = 30% a 0% (lazer)
- **Transferência, espera, percurso a pé**
 - Penalização (até 50% maior do que tempo de viagem)
- **Transporte de carga**
 - Custo do estoque em trânsito

Prof. Dr. Claudio Barbieri da Cunha - Escola Politécnica da USP - Depto de Engenharia de Transportes - set/2011

Acidentes

- **Custos de:**
 - Danos aos veículos
 - Danos à via
 - Hospitalização de Vítimas
 - Horas de trabalho perdidas pelas vítimas
 - Mortes
 - Danos pessoais, sofrimento

Prof. Dr. Claudio Barbieri da Cunha - Escola Politécnica da USP - Depto de Engenharia de Transportes - set/2011

MODELO VOC

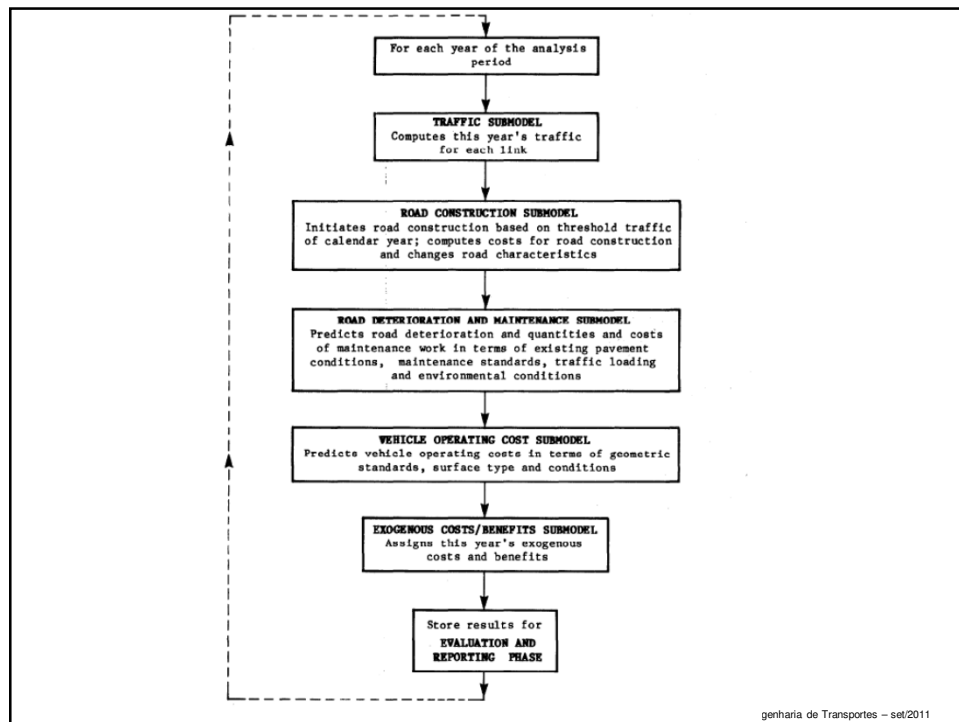
- **VOC = *Vehicle Operating Costs***
- **Parte do modelo HDM-III do Banco Mundial**
 - HDM = Highway Design and Maintenance Model
 - utilizado em gerência de pavimentos das rodovias
- **Permite determinar custos operacionais para diferentes modelos de veículos em função de**
 - geometria horizontal e vertical da via
 - condição do pavimento da via
- **Desenvolvido a partir de extensa pesquisa de campo (PICR) no Brasil pelo Geipot entre 1975 e 1982**
 - PICR = Pesquisa de Inter-relacionamento de custos rodoviários

Prof. Dr. Claudio Barbieri da Cunha - Escola Politécnica da USP - Depto de Engenharia de Transportes - set/2011

Aplicação do modelo VOC (HDM-III)

- **Apenas para rodovias (fluxo livre) pavimentadas e não pavimentadas (revestimento primário e terra)**
- **10 tipos / modelos de veículos**
 - Caminhões (MB-1113 / 2-3, Scania 110, F-4000 e F-400)
 - ônibus (MB O-362)
 - utilitário (VW Kombi)
 - autos (VW-1300, Opala, Dodge Dart)
- **Não leva em consideração nível de serviço ou congestionamento (redução de velocidade)**
- **Muito utilizado em estudos técnicos de valor de pedágio e privatização de rodovias**

Prof. Dr. Claudio Barbieri da Cunha - Escola Politécnica da USP - Depto de Engenharia de Transportes - set/2011



VOC no HDM-IV

- Veículos atualizados
- Expressões atualizadas
- Efeito de congestionamento pode ser considerado

Condição dos pavimentos

- Expressa a partir do Quociente de Irregularidade (QI) (*roughness index*)
- Mede a qualidade de rolamento pelos veículos que trafegam em uma via
 - medida dos deslocamentos verticais do eixo do veículo, decorrentes de ondulações, buracos, remendos
- Valores básicos para rodovias pavimentadas

Condição geral do pavimento	QI	IRI
Bom	30	2,31
Regular	50	3,85
Mau	75	5,77

OBS: $Q_i = 13 \text{ IRI}$

Prof. Dr. Claudio Barbieri da Cunha - Escola Politécnica da USP - Depto de Engenharia de Transportes - set/2011

Fatores que afetam custos operacionais



Prof. Dr. Claudio Barbieri da Cunha - Escola Politécnica da USP - Depto de Engenharia de Transportes - set/2011

Fatores que afetam custos operacionais



Prof. Dr. Claudio Barbieri da Cunha - Escola Politécnica da USP - Depto de Engenharia de Transportes - set/2011

Fatores que afetam custos operacionais



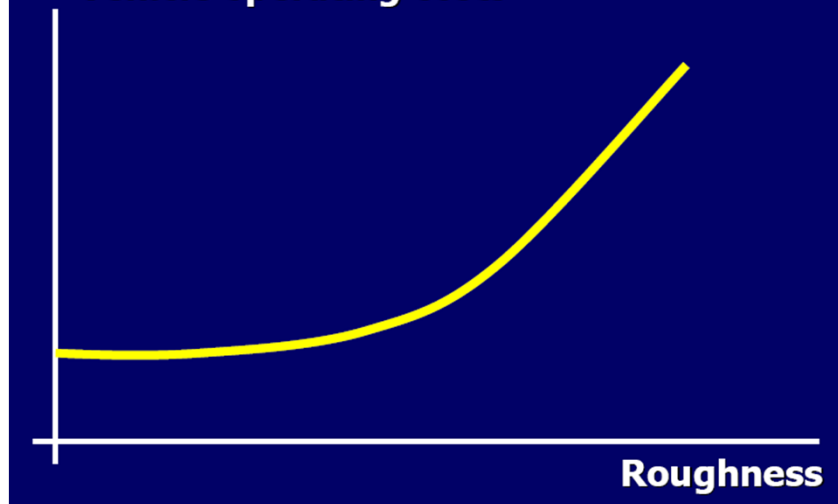
Prof. Dr. Claudio Barbieri da Cunha - Escola Politécnica da USP - Depto de Engenharia de Transportes - set/2011

Fatores que afetam custos operacionais



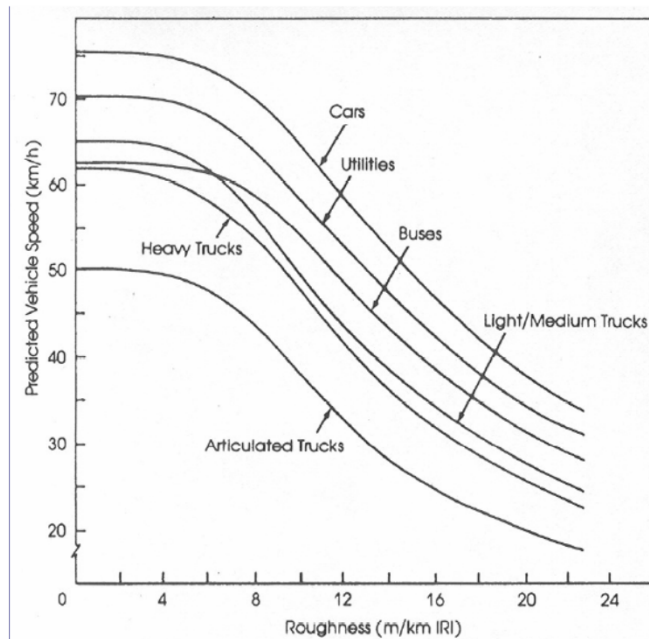
Prof. Dr. Claudio Barbieri da Cunha - Escola Politécnica da USP - Depto de Engenharia de Transportes - set/2011

Vehicle operating costs



Prof. Dr. Claudio Barbieri da Cunha - Escola Politécnica da USP - Depto de Engenharia de Transportes - set/2011

Irregularidade X velocidades dos veículos



Pavement roughness predictions: HDM IV

$$\Delta RI_t = f\{t, H, CRX, SNC, \Delta NE_4, \Delta RDS, \Delta CRX, \Delta PAT, H_p, \Delta VPOT, Ri_t, \Delta t\}$$

ΔRI_t = increase in roughness over time period t ,

Ri_t = roughness at time t ,

ΔRDS = increase in standard deviation of rut depth,

ΔCRX = increase in cracked area,

ΔPAT = increase in patched area,

Δt = incremental time period of analysis,

ΔNE_4 = incremental number of ESALS,

SNC = modified structural number,

H = thickness of cracked layer,

CRX = area of cracking,

T = age of pavement or overlay,

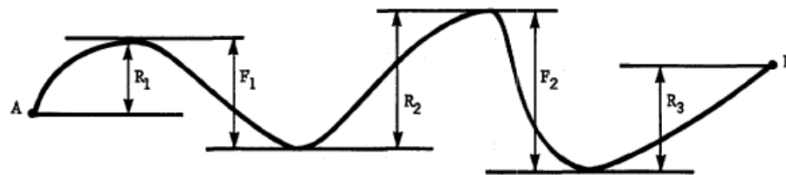
H_p = average potrusion of patch repairs above or below pavement surface,

$\Delta VPOT$ = increment in volume of open potholes.

Also climatic and geometric influences are involved.

Geometria Vertical

(a) Vertical profile of the road section



$$\text{Average rise plus fall, RF} = \frac{R_1 + R_2 + R_3 + F_1 + F_2}{L_{ab}} \quad \begin{matrix} \text{(meters)} \\ \text{(km)} \end{matrix}$$

Prof. Dr. Claudio Barbieri da Cunha - Escola Politécnica da USP - Depto de Engenharia de Transportes - set/2011

Geometria Vertical

- RPF = (*rise plus fall*) - Taxa de subidas e descidas

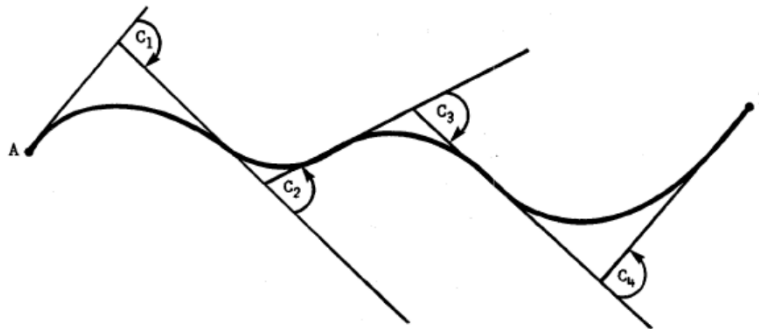
$$\frac{\sum |h_i|}{L} = \frac{\text{somatório dos desníveis}}{\text{extensão do trecho}} = \frac{[m]}{[km]}$$

Perfil	RPF (m/km)
Plano	10
Ondulado	25
Montanhoso	40

Prof. Dr. Claudio Barbieri da Cunha - Escola Politécnica da USP - Depto de Engenharia de Transportes - set/2011

Geometria Horizontal

(b) Plan view of the road section



$$\text{Average horizontal curvature, } C = \frac{C_1 + C_2 + C_3 + C_4}{L_{ab}} \quad \begin{matrix} \text{(degrees)} \\ \text{(km)} \end{matrix}$$

Prof. Dr. Claudio Barbieri da Cunha - Escola Politécnica da USP - Depto de Engenharia de Transportes - set/2011

Geometria Horizontal

- ADC = (*average daily curve*) - Angulo médio de curvatura da rodovia

$$\frac{\sum |\phi_i|}{L} = \frac{\text{somatório dos ângulos centrais das curvas}}{\text{extensão do trecho}} = \frac{[graus]}{[km]}$$

Perfil	ADC (°/km)
Plano	15
Ondulado	25
Montanhoso	35

Prof. Dr. Claudio Barbieri da Cunha - Escola Politécnica da USP - Depto de Engenharia de Transportes - set/2011

Bibliografia

- Belli, P.; Anderson, J.; Barnum, H.; Dixon, J.; Tan, J-E
Handbook on Economic Analysis of Investment Operations.
World Bank working paper, 1978.
- Adler, H. *Avaliação de Projetos de Transportes*. Livros
Técnicos e Científicos Editora, 1978.