

TT402 - TRANSPORTES B  
PAVIMENTAÇÃO  
UFPR

**Prof. Mário Henrique Furtado Andrade**  
Engenheiro Civil, M.Sc.  
Contato: (41) 3373-7834  
E-mail: [mariohenrique@ufpr.br](mailto:mariohenrique@ufpr.br)

# 1. INTRODUÇÃO À PAVIMENTAÇÃO

## 1.1 BREVE RELATO HISTÓRICO

### 1.1.1 ANTIGÜIDADE

(A) As técnicas de pavimentação evoluíram com os meios de transporte terrestre

*Evolução:*

- Andando
- Animais
- Veículos com tração animal ⇒ surgimento da **roda**

(B) Os veículos com rodas de madeira necessitavam de **superfícies revestidas**

*Civilizações:*

- Mesopotâmia (3500 a.C.)      Exemplo: **Estrada Real** - Babilônia
- Egito (3000 a.C.)              ▪ 2824 km (SE Ásia e Ásia Menor)
- Ilha de Creta (1500 a.C.)      ▪ Concluída em 323 a.C. (400 anos p/ concluir)
- Incas, Maias e Astecas        ▪ 93 dias de percurso (30 km/dia)

(C) Os veículos com rodas de aço necessitavam de **estruturas mais resistentes**

*Civilizações:*

- Grécia                              Exemplo: **Via Ápia**
- Império Romano              ▪ 1ª estrada construída científica
- Espessura de 1,0 a 1,7 m
- 3 camadas de pedras assentadas manual

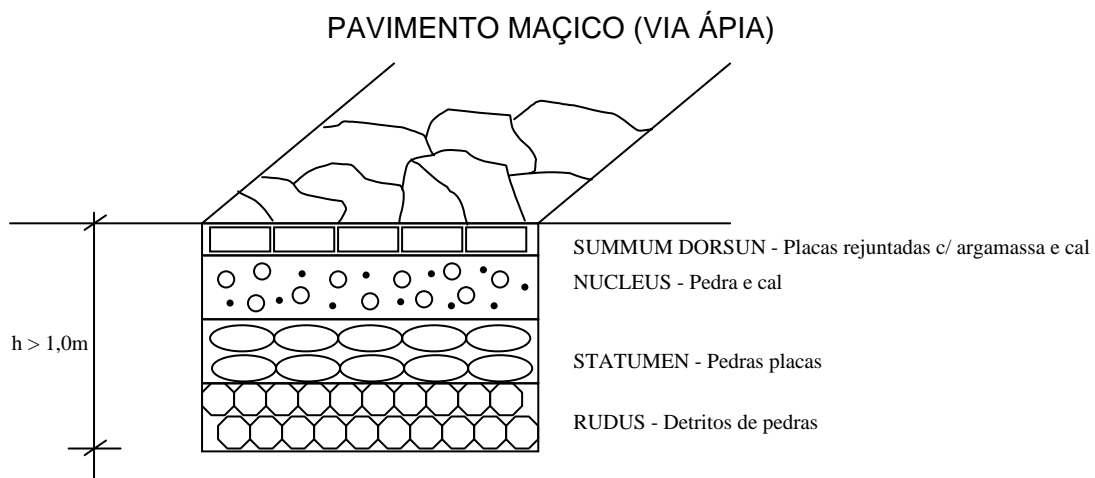
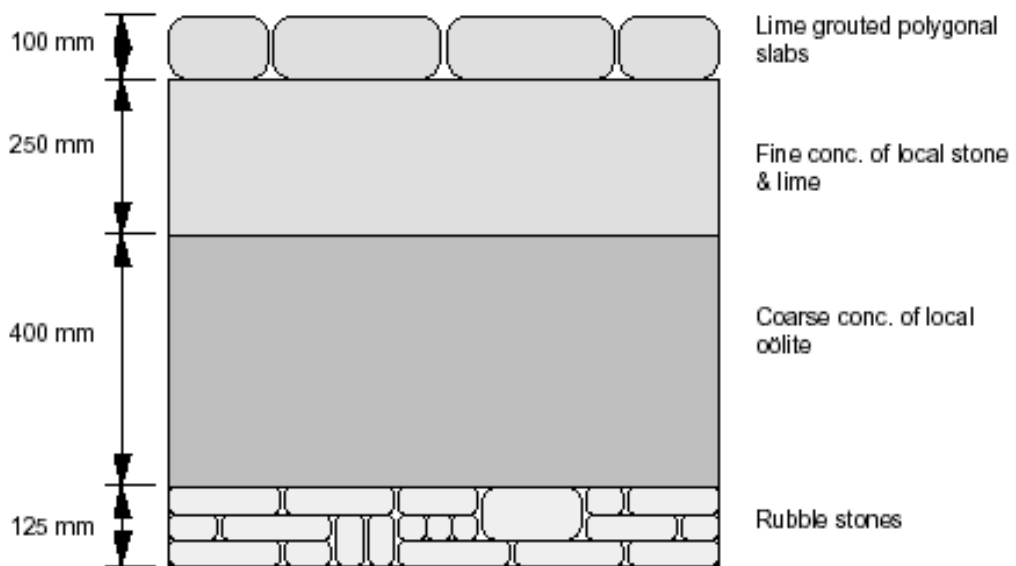




Figure 1.1: Via Appia in Rome

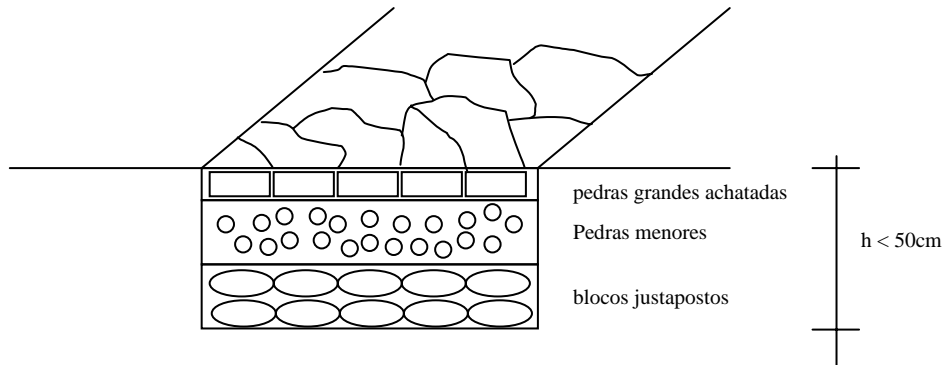


(IDADE MÉDIA - abandono e pouca inovação)

1.1.2 PÓS-RENASCENÇA

(A) Tresaguet (1716 - 1796)

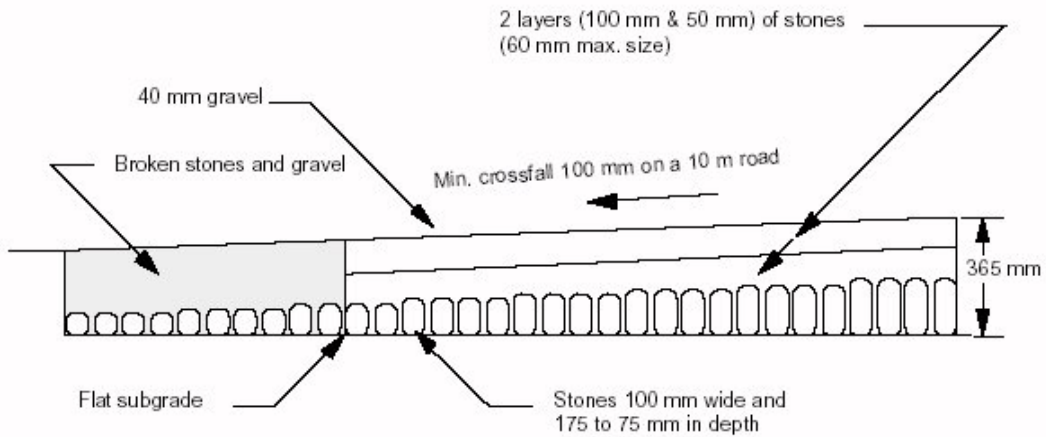
- Estruturas mais leves
- Bases bem drenadas (Drenagem)
- Manutenção contínua (Manutenção)



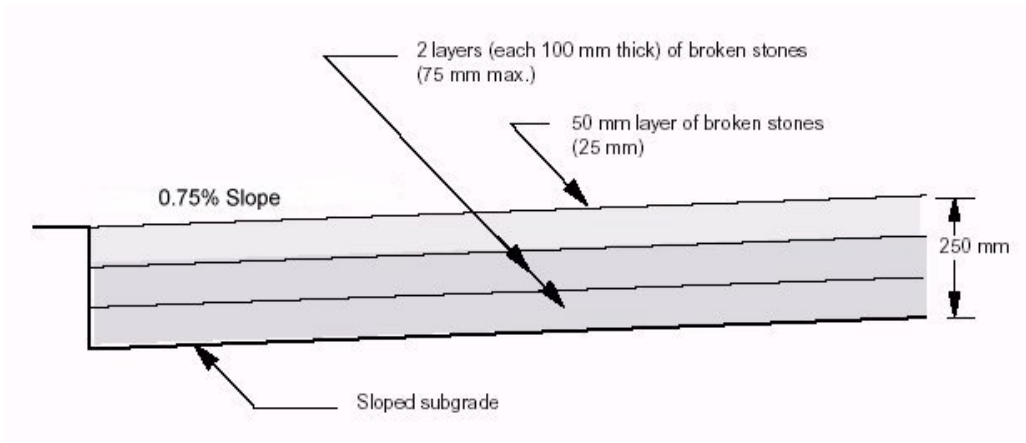
(B) MacAdam (1756 - 1836) e Telford (1754 - 1834)

- Importância da compactação
- Estabilização granulométrica
- Revestimentos mais confortáveis - cascalhos, paralelepípedos.

- TELFORD



### - MACADAM



Núcleo do Pavimento da Macadam

### 1.1.3 ERA MODERNA

- Séc. XIX (1ª Metade): Ferrovias
- Séc. XIX (2ª Metade): Goodyear (pneus), Dumlop (vulcanização), Daimler (motor)  
1890 - Penhard / Lassar - automóvel de benzina
- Séc. XX: (Evolução Tecnológica do automóvel)

1905: Asfalto

1909: Placas CCP

Ford (linhas de produção)

1920: HRB

1940: USACE

1950: WASHO

1960: AASHO → Manuais 66/72/86/93/2000

1982: PICR → (HDM)

1993: SHRP

1.1.4 SITUAÇÃO ATUAL NO BRASIL

**SITUAÇÃO ATUAL**

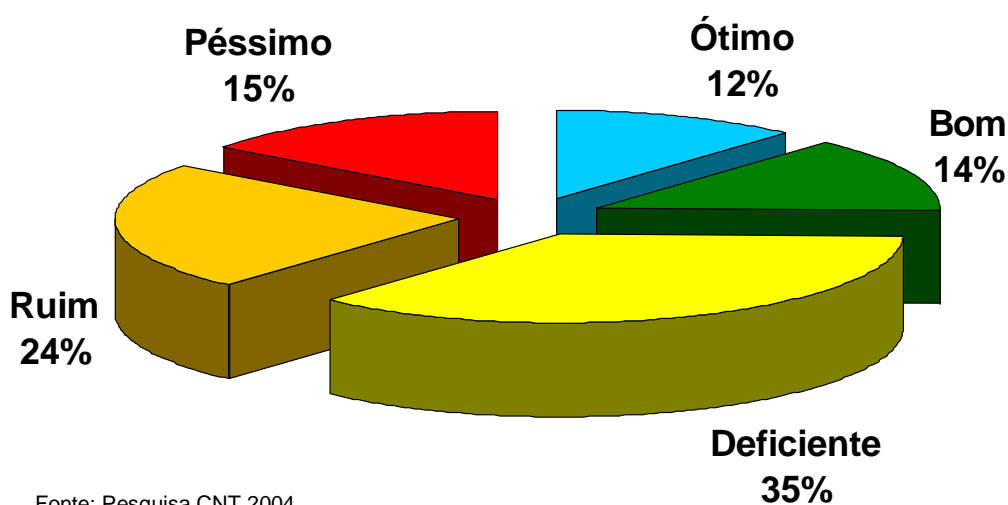
- A rede implantada no auge da construção (décadas de 60 e 70) está se deteriorando intensamente
- Condição atual de maior parte da rede é de regular a ruim com tendência a deterioração acelerada
- A reabilitação da rede exige recursos três a cinco vezes superior do que custaria a conservação no momento oportuno

**REDE RODOVIÁRIA NACIONAL (Km)**

RODOVIAS	PAVIMENTADAS	NÃO PAVIMENTADAS	TOTAL
Federais	56.139	14.484	<b>70.623</b>
Estaduais	91.892	116.126	<b>208.018</b>
Municipais	16.994	1.429.296	<b>1.446.290</b>
<b>TOTAL</b>	165.025	1.559.906	<b>1.724.931</b>

Fonte: DNIT 2000

**REDE RODOVIÁRIA FEDERAL**

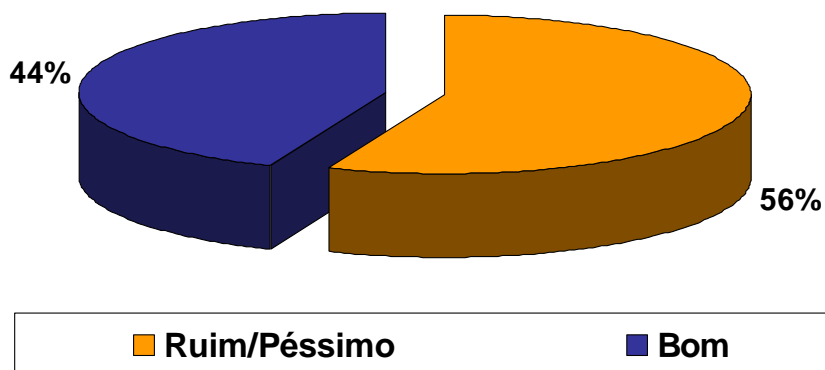


Fonte: Pesquisa CNT 2004

### CONDIÇÕES DE CONSERVAÇÃO

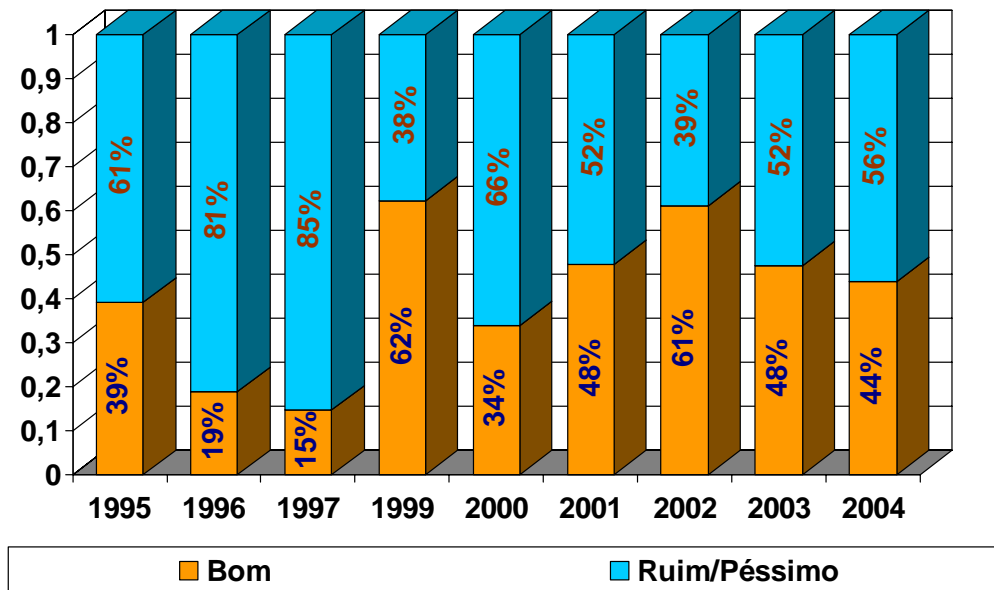


### CONDIÇÕES DE CONSERVAÇÃO



Fonte: Pesquisa CNT 2004

## CONDIÇÕES DE CONSERVAÇÃO

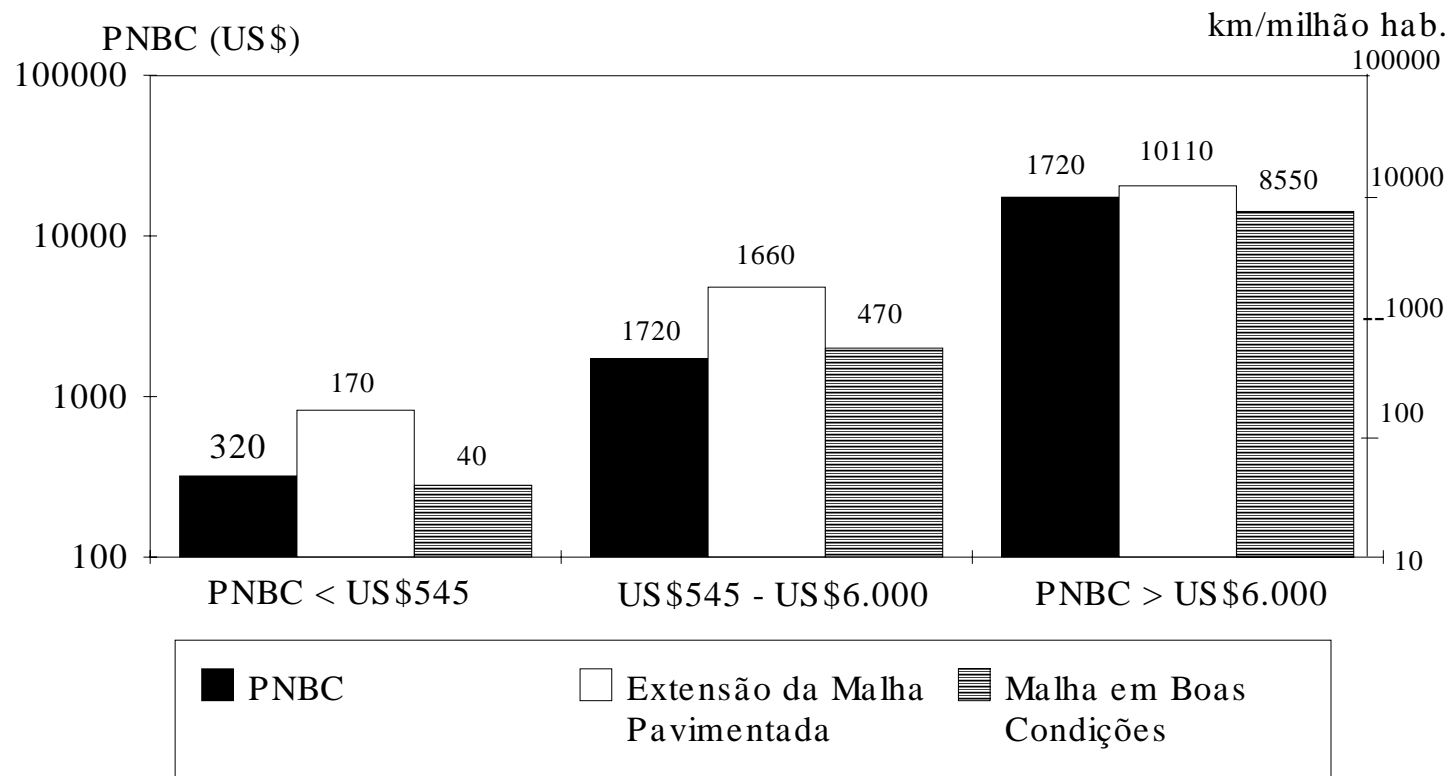


## SITUAÇÃO DAS RODOVIAS BRASILEIRAS

- 56,1% Com pavimento deficiente, ruim ou péssimo
- 65,4% Apresentam sinalização em estado inadequado
- 39,8% Não possuem acostamento
- 24,6% Com placas cobertas pelo mato
- 11,1% Trechos com afundamentos, ondulações ou buracos
- 40,3% Sem sinalização de Velocidade Permitida

Fonte: Pesquisa CNT 2004

# INFRA-ESTRUTURA X DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO



## 1.2 DEFINIÇÕES E CONCEITOS BÁSICOS

### 1.2.1 DEFINIÇÃO

- NBR - 7207/82

Pavimento → Estrutura construída sobre a terraplenagem

Objetivos:

1. Resistir os esforços verticais oriundos do tráfego
2. Melhorar condições de rolamento (conforto e segurança)
3. Resistir esforços horizontais permitindo uma superfície de rolamento durável

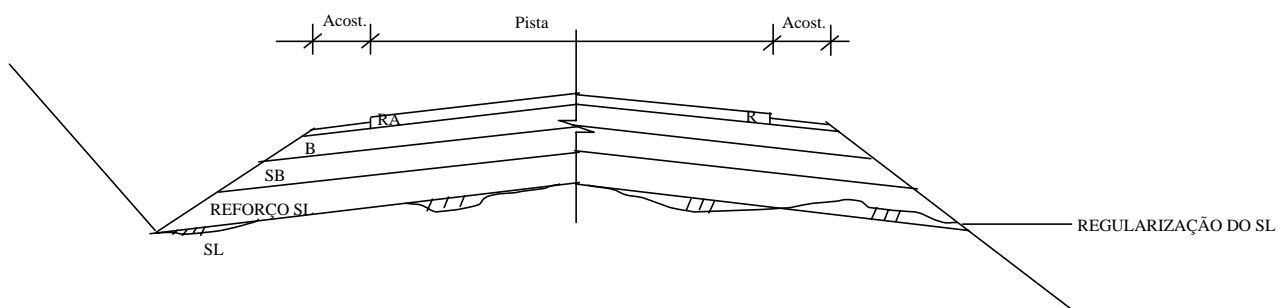
### 1.2.2 FINALIDADES DO PAVIMENTO

- HISTORICAMENTE → Melhorar a trafegabilidade sob quaisquer condições (estabilidade)
- ATUALMENTE → devido ao acréscimo das cargas e velocidades dos veículos
  - (A) ESTRUTURAL → Capacidade de carga
  - (B) FUNCIONAL → Conforto ao rolamento
  - (C) SEGURANÇA → Interação pneu-pavimento
  - (D) ECONOMIA → Custo operacional

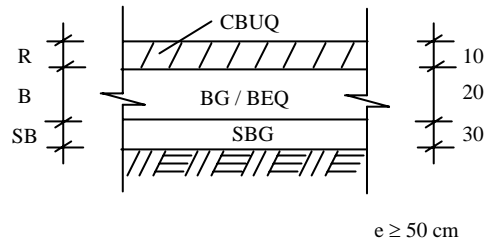
### 1.2.3 CAMADAS CONSTITUINTES

→ Sistema de várias camadas de espessuras finitas assentes sobre um semi-espaço finito e cuja qualidade dos materiais decresce com a profundidade.

### PAVIMENTO FLEXÍVEL



**ESTRUTURA TÍPICA**



SUBLEITO (SL) - Terreno de fundação

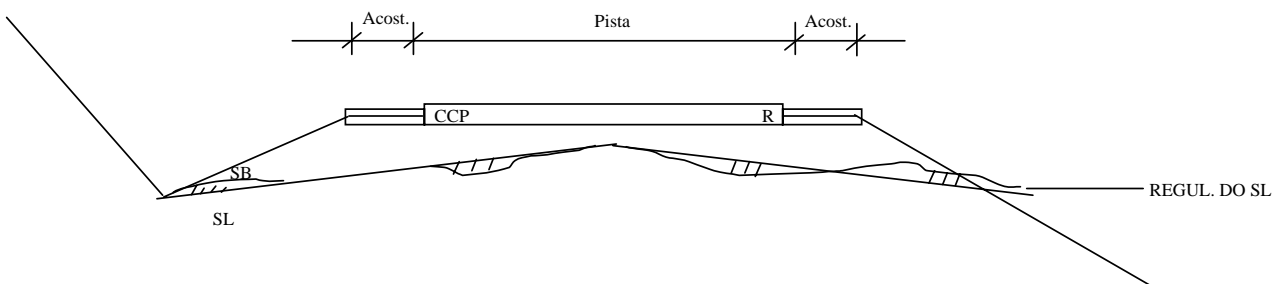
REFORÇO SL (REF) - Camada complementar de espessura constante  
(SL ↓ e/ou TRÁF. ↑)  
Estrutura do pavimento e fundação (transição)

SUB-BASE (SB) - Correção Subleito  
Complementa finalidade estrutural da base

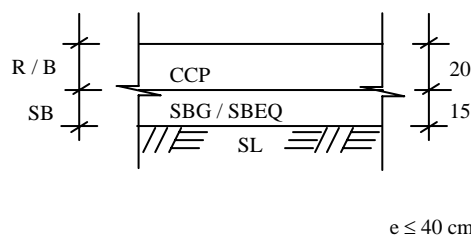
BASE (B) - Distribui esforços  
Leito p/ revestimento

REVESTIMENTO ASFÁLTICO (R) - Resiste e distribui esforços  
Rolamento suave e seguro  
Impermeabilização

**PAVIMENTO RÍGIDO**



**ESTRUTURA TÍPICA**



## TRANSPORTES B – PAVIMENTAÇÃO

---

SUB-BASE (SB) - Pouca contrib. Estrutural

Controle de bombeamento / expansão / contração

CCP - Concreto de Cimento Portland → BASE (B) e REVEST. (R)

SISTEMAS INTERMEDIÁRIOS → PAVIMENTOS SEMI-RÍGIDOS

→ PAVIMENTOS COMPOSTOS

### 1.2.4 PAVIMENTO COMO ESTRUTURA

- Característica Principal: "COMPLEXIDADE"

- número de variáveis (materiais, carga, fundação, clima, NA)
- circunstâncias variáveis
- sensibilidade à intemperização e degradação da superfície

- Comparação entre estruturas

ESTRUTURA	PRÉDIO	BARRAGEM	PAVIMENTO
1. ÁREA DO TERRENO	Pequena	Grande (concentrado)	Muito grande (10 x 0,5 x L)
2. INVEST. / m <sup>2</sup>	Alto	Alto	Baixo (Invest. total muito alto)
3. COEF. SEGURANÇA (qto ao cisalhamento)	Alto	Relativa / baixos	Baixos e Indefinidos (Trat. empíricos / estatísticos)
4. COND. AMBIENTAIS (NA e CLIMA)	Irrelevante	Relevante	Preponderante (solo saturado ou hot)
5. VIDA ÚTIL	Longa (+100 anos)	Longa e Indefinida (tempo de recorrência)	Curta (10 a 20 anos)
6. ESTUDO GEOTÉCNICO DE FUNDAÇÕES	Sond. A Percussão (In Situ)	Pormenorizados	Sond. Pá e picareta (até 1,5 m abaixo do greide exceção p/ solos moles)
7. CARGAS	Estáticas e bem definidas	Estáticas e bem definidas	Dinâmicas, variáveis e estimadas (efeito destrutivo variável)

### 1.3 CLASSIFICAÇÃO

#### 1.3.1 TIPO DE REVESTIMENTO

- Flexível  
RA + BG + SBG + (REF)
- Rígido  
CCP + SBG + (REF)  
CCP + SBEQ + (REF)
- Semi-Rígido  
Convencional: RA + BEQ + SBG + (REF)  
Estrutura invertida: RA + BG + SBEQ + (REF)
- Composto  
RA + CCP + SBEQ ou SBG+ (REF)  

$\underbrace{\hspace{10em}}$   
 RÍGIDO

CCP + RA + BG + SBG + (REF)  
 $\underbrace{\hspace{10em}}$   
 FLEXÍVEL

CCP + RA + BG ou BEQ+ SBEQ ou SBG + (REF)  
 $\underbrace{\hspace{10em}}$   
 SEMI - RÍGIDO

#### 1.3.2 FUNCIONAL

	ESTRADAS	AEROPORTOS
CARGA / RODA (kgf)	5.000	50.000
PRESSÃO PNEUS (kgf/cm <sup>2</sup> )	7,0	28,0
N.º REPETIÇÕES	10 <sup>6</sup> a 10 <sup>9</sup>	10 <sup>4</sup> a 5 x 10 <sup>4</sup>
APLICAÇÃO DAS CARGAS	0,5 - 10 m da borda	10 m centrais

### 1.3.3 DISTRIBUIÇÃO DE ESFORÇOS NO SUBLEITO

#### PAVIMENTO FLEXÍVEL

- 1 - A carga se distribui em parcelas proporcionais à rigidez das camadas
- 2 - Todas as camadas sofrem deformações elásticas significativas
- 3 - As deformações até um limite não levam ao rompimento
- 4 - Qualidade do SL é importante pois é submetido a altas tensões e absorve maiores deflexões ( $\epsilon_{2F} > \epsilon_{2R}$ )

#### PAVIMENTO RÍGIDO

- 1 - Placa absorve maior parte das tensões
- 2 - Distribuição das cargas faz-se sobre uma área relativa / maior
- 3 - Pouco deformável e mais resistente à tração
- 4 - Qualidade de SL pouco interfere no comportamento estrutural