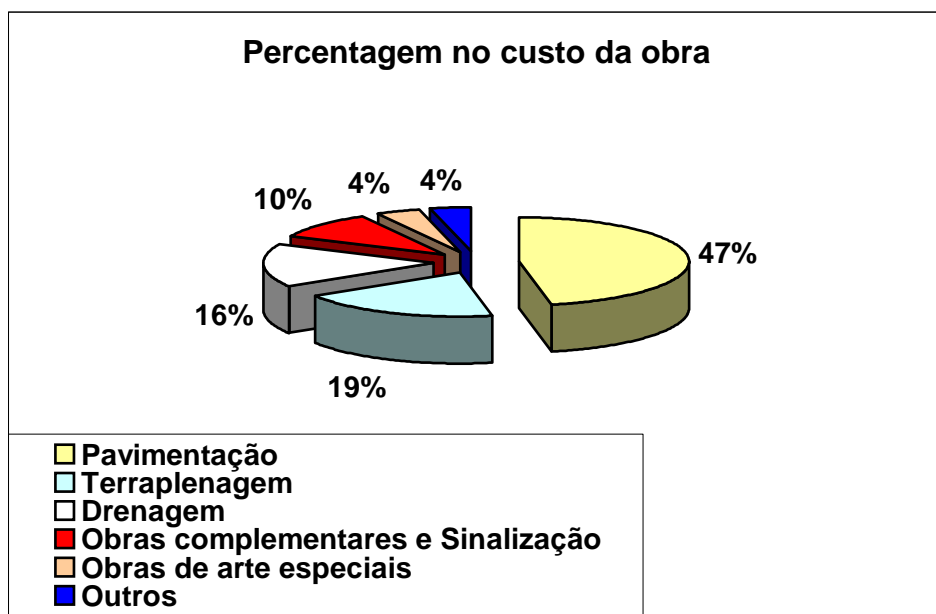


# Avaliação do Tráfego

## 1. Importância do Assunto



Rodovias	Extensão – km	R\$/km	Valores R\$
Pavimentadas	10.740,0	600.000,00	6.444.000.000,0
Solo	4.060,0	190.000,00	771.400.000,0
<b>Valor do patrimônio rodoviário da Bahia</b>			<b>7.215.400.000,0</b>

Valores de jan/05

Informações sobre o volume e a composição do tráfego são úteis para:

- Planejamento Rodoviário
- Gerência de Rodovias
- Dimensionamento de pavimentos

## 2. Contagens Volumétricas

O objetivo de uma contagem volumétrica (ou pesquisa de fluxo de tráfego) é determinar a **quantidade**, a **direção**, o **sentido** e a **composição** do fluxo de veículos que utilizam uma seção ou interseção da rede viária, em uma unidade de tempo.

Unidade de tempo: hora, **dia**, semana, mês e ano.

VH – volume horário

VHP – volume horário de pico

VDM – volume diário médio

TDM – tráfego diário médio

**VDM** ⇒ volume diário médio de veículos mistos que passam por uma determinada seção viária nos dois sentidos de tráfego.

BR 290 Porto Alegre Osório: 52.000 veículos/dia

BR 116 Porto Alegre Canoas: 115.000 veículos/dia

BR 116 Rio São Paulo (Dutra): 250.000 veículos/dia

Correções no VDM

Principais utilizações:

- Conhecer a demanda e a composição do tráfego em um trecho ou interseção;
- Comparação da demanda com a capacidade da via;
- Definição da importância e da classificação da via;
- Para projeto de interseções;
- No cálculo do número N para dimensionamento de pavimentos;
- Para análise de implementação de dispositivos de controle como canalizações e semáforos;
- Elemento de cálculo de tempos de operação de um semáforo;
- Para análise de acidentes;
- Como dado básico de planejamento rodoviário

**Contagens Manuais:** são realizadas por pesquisadores postados ao da via, que utilizam contadores manuais presos a uma prancheta com uma planilha adequada para a marcação dos dados.

**Contagem Automática:** é realizada por equipamentos instalados ao lado ou sobre a via que registram a passagem dos veículos.


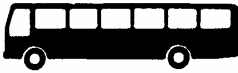



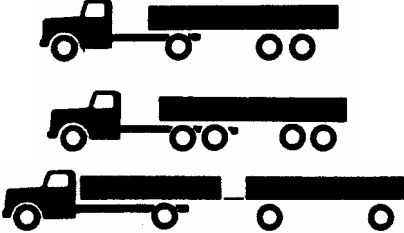
**Tecnologias:**

**Eletromecânicos:** cabo de borracha estendido sobre o piso de rolamento.

**Imagem Magnética:** consiste na leitura do campo magnético da terra por pequenos sensores instalados no interior do aparelho, que medem a perturbação resultante da movimentação de veículos, inferindo a quantidade e a classificação.

**Filmagens:** Câmeras de vídeo VHS estrategicamente posicionadas. Contagem e classificação feitas no escritório.

**Composição do Tráfego**

Tipo de Veículo	Configuração	Classe
Moto Automóvel Pick-up		Passeio
Ônibus 2E Ônibus 3E		Ônibus
Caminhão 2C		Carga leve
Caminhão simples 2C		Carga média
Caminhão trucado 3C Semi-reboque 2S1		Carga pesada
Semi-reboque 2S2 Semi-reboque 2S3 Semi-reboque 3S1 Semi-reboque 3S2 Semi-reboque 3S3 Reboque 2C2		Carga ultra- pesada

**3. Crescimento do Tráfego**

Como prever o crescimento do tráfego?

De 1990 até 2005 a frota brasileira aumentou de **18,3** para **40,0** milhões de veículos ([www.denatran.gov.br](http://www.denatran.gov.br)).

O Brasil é um mercado em expansão para a indústria automotiva.

O crescimento do tráfego pode ser associado ao da população e da renda. Estudos de duplicação da BR/116 entre Camaquã e Pelotas no RS adotaram uma taxa de crescimento do tráfego de 2,99% aa, correspondente à evolução do PIB regional entre 1996 e 2000.

No Brasil é difícil planejar o crescimento do tráfego devido às oscilações que ocorrem na organização econômica. Plano Cruzado, Plano Real, recessão, etc.

Uma prática adotada com certa freqüência em estudos de tráfego é a definição de uma taxa de crescimento a partir de uma série histórica de valores do VDM.

Vamos supor:

$VDM_0 = 1000$  veículos/dia

com uma taxa de crescimento anual de  $g = 2,5\%$ aa

No final do 1º ano –  $VDM_1 = 1000 \cdot (1 + 0,025)$

No final do 2º –  $VDM_2 = 1000 \cdot 1,025^2$

No final do 3º –  $VDM_3 = 1000 \cdot 1,025^3$

No final do 4º –  $VDM_4 = 1000 \cdot 1,025^4$

...

Assim, o modelo matemático adequado é:

$$\text{VDM} = a \cdot b^p$$

Ou:

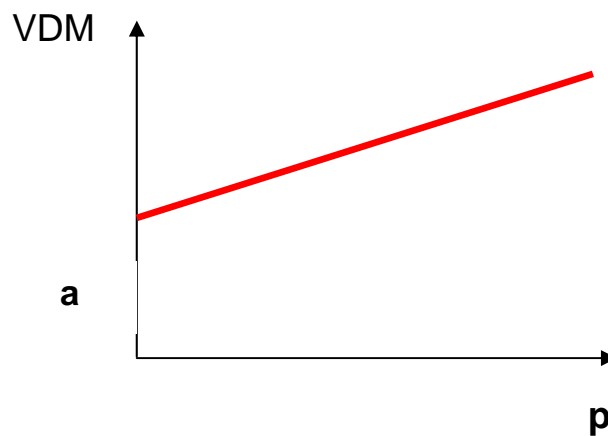
$$\text{VDM} = \text{VDM}_0 \cdot (1 + g)^p \quad (1)$$

Onde:

$p$  – número de anos (1, 2, 3, ...n)

$\text{VDM}_0$  – intercepto

$g$  – taxa de crescimento do tráfego



Aplicando-se  $L_n$  em (1)

$$L_n \text{ VDM} = L_n \text{ VDM}_0 + L_n (1+g) \cdot p$$

( $Y = a + bX$ )

Por regressão linear simples determinam-se os coeficientes  $L_n \text{ VDM}_0$  e  $L_n (1+g)$

Aplicando função inversa:

$$\text{EXP } L_n (1+g) = b = 1+g$$

$$\text{EXP } L_n \text{ VDM}_0 = a = \text{VDM}_0$$

Sendo  $b = 1+g$ , então:

$$\underline{\underline{g = b - 1}}$$

Exemplo:

Determinar a taxa de crescimento do tráfego a partir dos seguintes dados históricos:

Ano	VDM
1994	4970
1995	5340
1996	5600
1997	6120
1998	6410
1999	7314
2000	6677
2001	7190

$$VDM = VDM_0 \cdot (1+g)^P$$

$$\ln VDM = \ln VDM_0 + \ln(1+g) \cdot p$$

A regressão fornece:

$$\ln(1+g) = 0,05416$$

$$\ln VDM_0 = 8,4805$$

$$\ln VDM = 8,4805 + 0,05416P$$

$$\exp \ln(1+g) = 1,05565$$

$$\exp \ln VDM_0 = 4819,859$$

A equação do VDM fica:

$$VDM = 4819,859 \cdot 1,05565^P$$

$$b = 1 + g = 1,05565$$

$$g = b - 1$$

$$g = 0,05565 \text{ ou } \underline{\underline{g = 5,56\%}}$$

Qual é a certeza sobre o futuro?

O DNIT admite taxas máximas de **4,0%** para projeto de rodovias planejadas que irão atender áreas de expansão agrícola. Para as demais rodovias a taxa de crescimento recomendada é **3,0%**. O DAER RS também adota 3,0%.

Deve-se refletir sobre a necessidade de maiores investimentos em estudos de tráfego mais aprofundados integrados com os parâmetros de desenvolvimento regional com vistas à definição de uma taxa de crescimento mais real.

#### 4. Fatores de Projeto de um Pavimento

- Capacidade de suporte do subleito
- Características dos materiais constituintes do pavimento
- **Ação do tráfego**

O tráfego de carga que solicita um pavimento é constituído por uma diversidade muito grande de veículos. Os veículos circulam através de variados tipos de eixos.

Como representar a ação do tráfego?

**Eixo padrão:** é um eixo simples de rodado duplo com carga de 18.000lb ou 8,2t e 80psi de pressão de inflação dos pneus.

Correlaciona-se cada tipo de eixo ao eixo padrão.

Desta forma, o tráfego previsto, para um pavimento é definido em função do **número equivalente de operações do eixo padrão**, durante o período de projeto. Esta quantidade de passagens do eixo padrão é o conhecido **N**.

Ao se calcular o N, devem ser considerados, além do crescimento do tráfego que vinha utilizando a via, o tráfego desviado de outras vias existentes e o tráfego gerado que surge estimulado pelas facilidades que serão criadas.

## 5. Vida Útil de um Pavimento

Pela quantidade e severidade dos fatores intervenientes, configura-se que a durabilidade de um pavimento é limitada. Logo, depois de transcorrido algum tempo de uso, o pavimento deverá sofrer um recapeamento ou mesmo uma restauração.

WATSON (1989) explica que, segundo pesquisas desenvolvidas na Inglaterra, o melhor momento para a intervenção ocorre quando são detectadas trilhas de roda com profundidade de 10mm ou fissuras sobre as trilhas de roda, mesmo antes de ocorrer esta profundidade. Define que a *vida útil*, para um projeto de pavimento novo, é o período de tempo provável no qual deverá ocorrer esta condição crítica. Conclui relatando que quando são considerados os custos de construção e manutenção, um período de vida útil de 20 anos seria o de adoção mais adequada.

A consideração de vida útil como sendo o tempo de uso transcorrido até a restauração ou entre duas restaurações, foi ampliada pela AASHTO (1993). Por recomendação do *Guide for Design of Pavement Structures* o que era chamado de período de projeto (expectativa da vida útil) é agora entendido como *período de análise*, ou seja, o tempo transcorrido coberto pela estratégia de projeto do pavimento. Atualmente, com base em estudos de custos totais e estratégias de manutenção eficientes recomenda-se a adoção de períodos de análise de maior duração, incluindo uma ou mais restaurações. Como orientação geral são indicados 30 a 50 anos para vias urbanas de alto volume diário médio de veículos - VDM ( $\pm 50.000$ ), 20 a 50 anos para rodovias rurais com alto VDM ( $> 10.000$ ) e 15 a 25 anos para rodovias rurais pavimentadas com baixo VDM ( $\pm 2.000$ ).

No Brasil, o Método de Projeto de Pavimentos Flexíveis do DNER (atual Dnit) (BRASIL. DNER, 1979) considera que um pavimento será dimensionado em função do número equivalente N de operações de um eixo padrão, durante um período de projeto escolhido. Em geral, os órgãos rodoviários definem **períodos de projeto de 10 anos**. No caso de dimensionamento de camadas de reforço também há uma relação entre vida útil do pavimento e o decorrente número N.

## 6. Número N

### 6.1 Cálculo do Volume Total de Tráfego

$$V_t = 365 \cdot V_m \cdot P$$

Onde:

**P** - Período de projeto ou vida útil estimada em anos;

**V<sub>m</sub>** - volume diário médio de veículos no sentido (faixa) mais solicitado no ano médio do P.

$$V_m = \frac{v_p + V_P}{2}$$

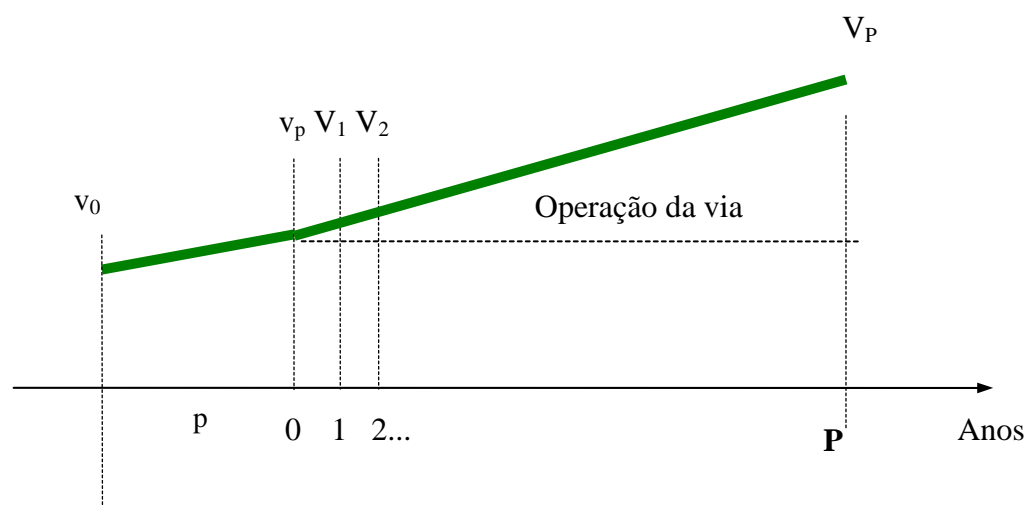
Onde:

**v<sub>p</sub>** – Volume de tráfego no início do 1º ano de P

**V<sub>1</sub>** – Volume de tráfego no final do 1º ano de P

**V<sub>P</sub>** – Volume de tráfego ao final de P

Crescimento Linear



$v_0$  - Volume de tráfego levantado. Normalmente toma-se como  $VDM_0/2$  para distribuição pendular. Caso ocorra, deve-se considerar o sentido mais solicitado.

Número de Faixas de Tráfego	Volume de Tráfego na Faixa de Projeto (% do VDM nos 2 sentidos)
2	50
4	35 – 48
6	25 – 48

Fonte: MDPF, DNER. 1981

Sendo:

$t$  - taxa de crescimento (normalmente) linear ao ano

$p$  - número de anos até a entrada em operação da via (projeto + licitação + obras)

$$v_p = V_0 (1 + pt)$$

e

$$V_P = v_p (1 + Pt)$$

Assim, pode-se calcular  $V_m$  e  $V_t$ :

$$V_m = \frac{v_p + V_P}{2}$$

$$V_t = 365.V_m.P$$

Se o crescimento for exponencial, deve-se calcular  $V_t$  por:

$$V_t = \frac{365.V_0 \left[ (1 + g)^P - 1 \right]}{g}$$

## 6.2 Cálculo do Número N

$$\mathbf{N = V_t . FE . FC}$$

Para o cálculo do N consideram-se somente os **veículos comerciais**.

$$\mathbf{N = V_{tc} . FE . FC}$$

### Fator de Eixo - FE

FE é o coeficiente que multiplicado por V<sub>tc</sub> fornece o número de eixos correspondente n:

$$\mathbf{n = V_{tc} . FE}$$

Não esquecer!  Apenas o tráfego **comercial**!

<b>Veículo</b>	<b>N.º de Eixos</b>	<b>Classificação DNER</b>
<b>Carga Leve</b>	2	2C
<b>Carga Média</b>	2	2C
<b>Carga Pesada</b>	2	3C
<b>Carga Pesada Semi Reboque</b>	3	2S1, 2S2
<b>Reboque</b>	3	2S3, 3S3
<b>Bitrem</b>	4	2C2, 2C3
<b>Ônibus</b>	4	3S2B2
	2	2E, 3E

Exemplo:

Sendo  $V_{mt} = 4.000$ , calcular o FE para um fluxo discriminado como:

<b>Veículos</b>	<b>% Tráfego Total</b>	<b>% Tráfego comercial</b>
Passeio	30	-
Caminhão leve	4	<b>5,7</b>
Caminhão médio	49	<b>70</b>
Caminhão pesado	7	<b>10</b>
Semi-reboque	6	<b>8,6</b>
Reboque	1	<b>1,4</b>
Ônibus	3	<b>4,3</b>
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

Veículos Comerciais:  $V_{mc} = 4.000 \times 0,70 = 2.800$

Veículos		Número Eixos n
Passeio	-	
Caminhão leve	$0,057 \times 2800 \times 2$	319,2
Caminhão médio	$0,70 \times 2800 \times 2$	3920,0
Caminhão pesado	$0,10 \times 2800 \times 2$	560,0
Semi-reboque	$0,086 \times 2800 \times 3$	772,4
Reboque	$0,014 \times 2800 \times 4$	156,8
Ônibus	$0,043 \times 2800 \times 2$	240,8
Total		n = 5970










$$FE = n/Vmc$$

$$FE = 2,13$$

Na falta de dados propõe-se a adoção de **FE = 2,07**

**Refletir sobre a importância das informações e dos levantamentos do Tráfego**

## Classificação e Limites de Carga dos Principais Veículos da Frota Brasileira

Configuração do Veículo	Classificação DNER	Limite por Eixo (t)	PBT (t)
	2C	<b>6,0 + 10,0</b>	16,0
	3C	<b>6,0 + 17,0</b>	23,0
	3C	<b>6,0 + 13,5</b>	19,5
	2S1	<b>6,0+10,0+10,0</b>	26,0
	2S2	<b>6,0+10,0+17,0</b>	33,0
	3S2	<b>6,0+17,0+17,0</b>	40,0
	2S3	<b>6,0+10,0+25,5</b>	41,5
	2C2	<b>6,0+10,0+10,0+ 10,0</b>	36,0
	3C2	<b>6,0+17,0+10,0+ 10,0</b>	43,0

Fonte: (GODOY e MACHADO, 1993); (MEDINA, 1997)

## Fator de Carga – FC

- O número de operações  $N_i$  de uma carga qualquer  $W_i$  é equivalente ao número de operações  $N_p$  de uma carga padrão  $W_p$  (18.000lb, 82KN ou 8,2tf/eixo), quando  $N_i$  provoca sobre um pavimento o mesmo efeito destrutivo das  $N_p$  solicitações da carga padrão  $W_p$ .

Assim, define-se Fator de Equivalência de Cargas como:

$$FEC = \left( \frac{W_i}{W_p} \right)^b$$

Onde  $b$  é um expoente cujo valor pode ser determinado em laboratório ou experimentalmente.

$$b \cong 4,2 \text{ AASHTO}$$

$$b \cong 6,0 \text{ CE}$$

“O FC é um coeficiente que multiplicado pelo número de eixos que circulam dá o número equivalente de operações do eixo padrão sob o ponto de vista destrutivo”.

O Manual de Reabilitação de Pavimentos Asfálticos (DNER, 1998) indica o formulismo adequado para o cálculo dos FEC de acordo com pesquisas desenvolvidas pela AASHTO (com base no índice de serventia) e pelo USACE (com base nos efeitos do carregamento na deformação permanente). Os valores mais utilizados no Brasil são os produzidos pelo USACE, apresentados a seguir:

Tipo de eixo	Faixa de Cargas (t)	Equações (P em tf)
Dianteiro simples e traseiro simples	0 – 8	$FEC = 2,0782 \times 10^{-4} \times P^{4,0175}$
	$\geq 8$	$FEC = 1,8320 \times 10^{-6} \times P^{6,2542}$
Tandem duplo	0 – 11	$FEC = 1,592 \times 10^{-4} \times P^{3,472}$
	$\geq 11$	$FEC = 1,528 \times 10^{-6} \times P^{5,484}$
Tandem triplo	0 – 18	$FEC = 8,0359 \times 10^{-5} \times P^{3,3549}$
	$\geq 18$	$FEC = 1,3229 \times 10^{-7} \times P^{5,5789}$
P = Carga total por eixo		

**É necessário pesagem de uma amostra de veículos comerciais para ter-se o FC de cada projeto.**

Exemplo:

Calcular o FC de acordo com a discriminação de pesagens em uma amostra do tráfego, conforme planilha:

Eixos Simples (tf)	% da Amostra	FEC <sub>i</sub>	%.FE.C <sub>i</sub>
< 4	39	-	-
4 – 5	9	0,095	0,855
5 – 7	10	0,278	2,78
7 – 9	7	0,81	5,67
9 – 11	15	3,29	49,35
11 – 13	11	10,29	113,19
<b>Eixos Tandem Duplos</b>			
12 – 15	6	2,53	15,18
15 – 18	3	7,34	22,02
<b>Total</b>	100		<b>209,045</b>

$$FC = \frac{\% * FC_i}{100} \quad (\text{Média ponderada})$$

$$FC = 2,09$$

Na falta de maiores dados, Senço (1997) recomenda a adoção de **FC=1,7**.

### **Fator de Veículo - FV**

Define-se **Fator de veículo FV** como o produto FE x FC

$$FV = FE \times FC$$

Considerando apenas o tráfego comercial:

$$N = V_{tc} * FV$$

**FV** é um fator que multiplicado pelo número de veículos, fornece o número equivalente de passagens do eixo padrão.

Na falta de maiores dados o DNER admite o uso de dados de pesagens feitas no RS, a partir da pesquisa DAER - Enecon/Ingeroute:

<b>T. Veículo</b>	<b>F. Veículo</b>
<b>C. Leve</b>	0,063
<b>C. Médio</b>	1,371
<b>C. Pesado</b>	4,986
<b>S. Reboque</b>	11,205
<b>Ônibus</b>	0,35

Exemplo:

Calcular o FV conhecendo-se a distribuição % do volume de tráfego comercial:

<b>Veículo</b>	<b>% Vc</b>	<b>FV</b>	<b>% * FV</b>
C. Leve	5,7	0,063	0,359
C. Médio	72,9	1,371	99,946
C. Pesado	10,0	4,986	49,860
S. Reboque	7,1	11,205	79,555
Reboque	1,4	11,205	15,687
Ônibus	2,9	0,35	1,015
Total	100		<b>246,422</b>

$$\mathbf{FV} = \frac{\mathbf{246,422}}{\mathbf{100}} = \mathbf{2,46}$$

**Finalmente, pode-se calcular o N**

Sendo  $V_{tc} = 365 * V_{mc} * P$

No Brasil, normalmente, adota-se **10** ou 12 anos para o valor da vida útil prevista **P**.

$$\mathbf{N} = \mathbf{V_{tc} \times FE \times FC}$$

Ou:

$$\mathbf{N} = \mathbf{V_{tc} \times FV}$$

Expresso em potências de 10    P.ex.:     $\mathbf{N} = \mathbf{3,1 \cdot 10^6}$

Uma das conseqüências do cálculo do N é a recomendação do MDPF do DNIT para definição da espessura das camadas de revestimento asfáltico:

<b>N</b>	<b>Espessura mínima</b>
$N \leq 10^6$	Tratamento superficial 2,5cm
$10^6 \leq N \leq 5.10^6$	Revestimento Betuminoso 5,0cm
$5.10^6 \leq N \leq 10^7$	Concreto asfáltico 7,5cm
$10^7 \leq N \leq 5.10^7$	Concreto asfáltico 10,0cm
$N > 5.10^7$	Concreto asfáltico 12,5cm

### 6.3 Tipo de Veículo x Dano no pavimento

<b>Tipo de Veículo</b>	<b>Carga/eixo t</b>	<b>FEC</b>	<b>Dano (FV)</b>
<b>Caminhão 2C</b>			
1º eixo	6,0	0,25	
2º eixo	10,0	3,00	3,25
<b>Caminhão 3C</b>			
1º eixo	6,0	0,25	
2º eixo	17,0	8,00	8,25
<b>Semi-reboque 2S2</b>			
1º eixo	6,0	0,25	
2º eixo	10,0	3,00	
3º eixo	17,0	8,00	11,25
<b>Semi-reboque 3S2</b>			
1º eixo	6,0	0,25	
2º eixo	17,0	8,00	
3º eixo	17,0	8,00	16,25
<b>Semi-reboque 2S3</b>			
1º eixo	6,0	0,25	
2º eixo	10,0	3,00	
3º eixo	25,5	8,94	12,19
<b>Semi-reboque 3S3</b>			
1º eixo	6,0	0,25	
2º eixo	17,0	8,00	
3º eixo	25,5	8,94	17,19
<b>Bitrem</b>			
1º eixo	6,0	0,25	
2º eixo	17,0	8,00	
3º eixo	17,0	8,00	
4º eixo	17,0	8,00	24,25
<b>Pick-up</b>			
1º eixo	0,5	$5,76 \cdot 10^{-08}$	
2º eixo	0,5	$5,76 \cdot 10^{-08}$	$1,15 \cdot 10^{-07}$

## 6.4 Cálculo do Índice de Tráfego

O índice de Tráfego - **IT** necessário para aplicação do procedimento DNER-PRO 10/79 (espessura de recapeamento) é determinado por:

$$\log N = 7,874 \log IT - 1,307$$

$$\log IT = \frac{\log N + 1,307}{7,874}$$

## 7. Redução da vida útil

Havendo um acréscimo nos limites máximos de carga, um aumento nas tolerâncias ou a autorização para tráfego sem restrição do veículo tipo bitrem irá ocorrer um consumo maior do N, situação que provoca uma redução na vida prevista para o pavimento.

