



Pavimentos

Tráfego

Determinação do nº de solicitações do eixo
padrão (N)

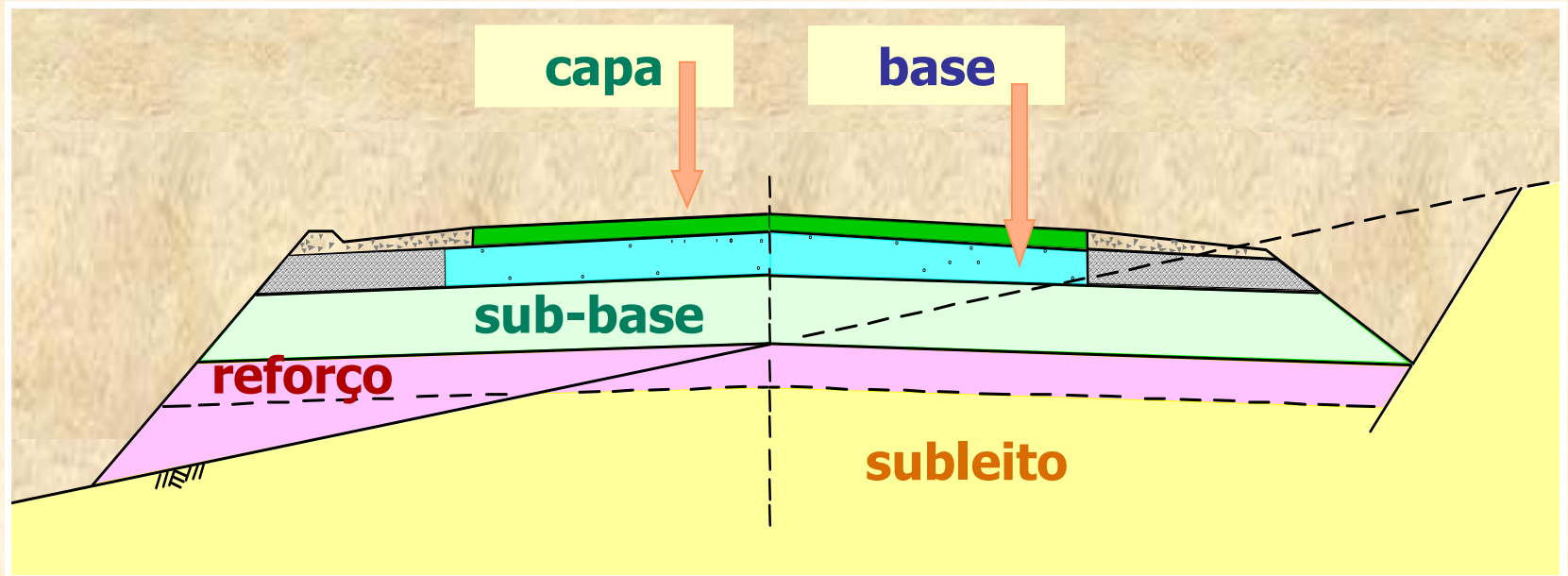
Método do DNER



Pavimento – Tráfego

- Conceitos gerais
- Composição da frota
- Eixo padrão
- N^o de solicitações do eixo padrão

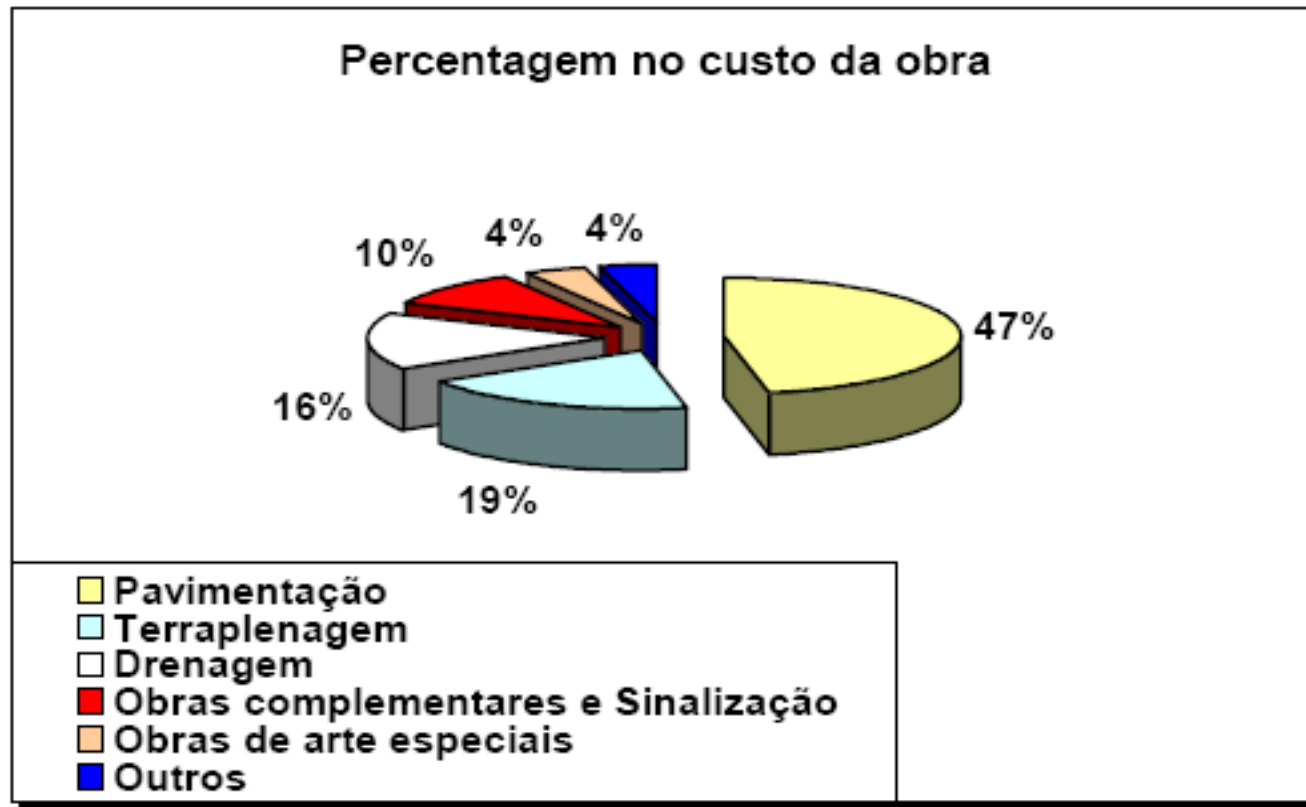
Pavimento – Seção Transversal



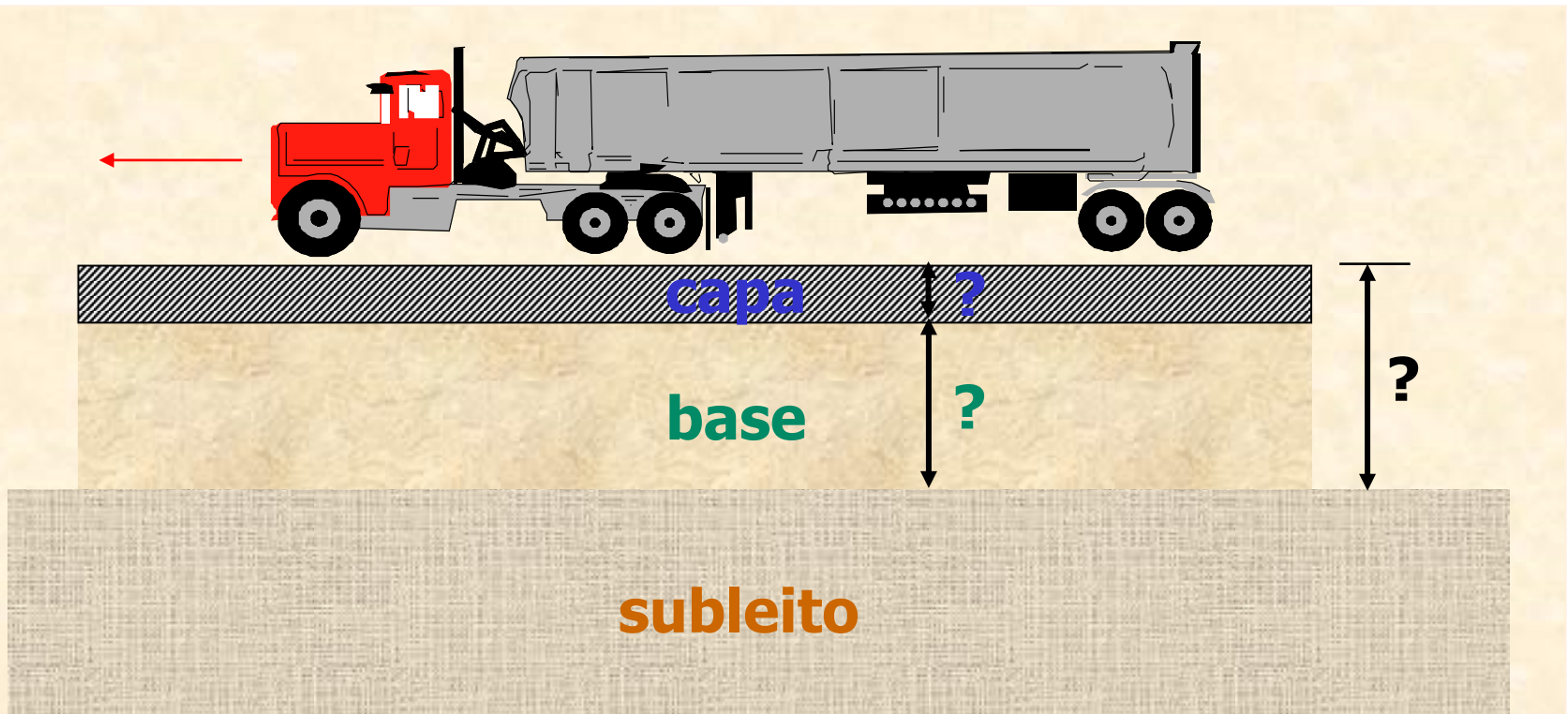
O **pavimento** é uma estrutura destinada a resistir aos esforços gerados pelo tráfego, garantindo **durabilidade** à superfície de rolamento e proporcionando **conforto** e **segurança** ao usuário.

Pavimento - Custos

O custo do pavimento na construção da rodovia



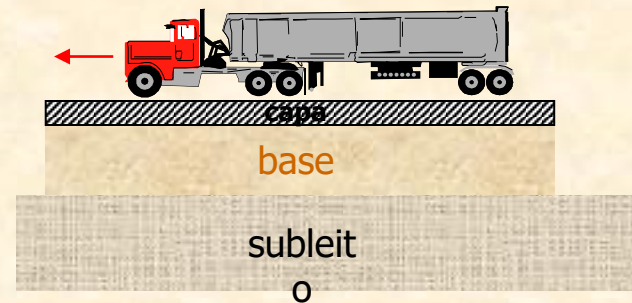
Pavimento – Dimensionamento



Dimensionamento = f(material do subleito, materiais das camadas do pavimento e do tráfego)

Pavimento – Tráfego

Carregamento devido ao tráfego



Variações na:

- configuração de eixos e rodas
- cargas
- velocidade
- região solicitada do pavimento



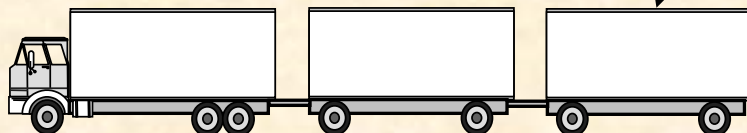
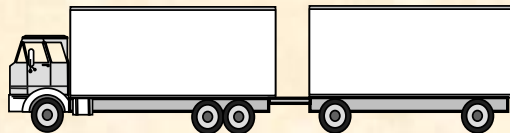
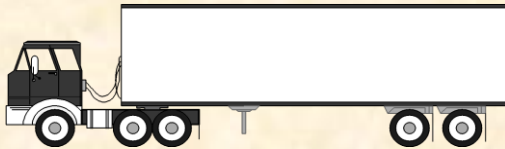
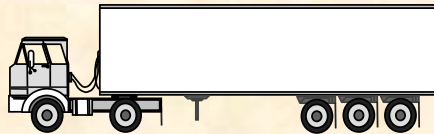
Pavimento – Tráfego

Composição da frota

- veículos de passeio
- caminhões leves - 2 eixos simples, ambos com rodas simples
- caminhões médios - 2 eixos simples, rodas traseiras duplas
- caminhões pesados - 2 eixos, traseiro em tandem, reboques e semi-reboques - outras combinações
- ônibus - equivalentes a caminhões leves

Pavimento – Tráfego

Configurações para caminhões médios e pesados



médio

pesado

reboque e semi-reboque

Pavimento – Tráfego

Médio, rodas traseiras duplas



Pavimento – Tráfego

Pesado, tandem duplo traseiro



Pavimento – Tráfego

Pesado, tandem duplo traseiro



Pavimento – Tráfego

Semi-reboque, eixo traseiro simples de rodas duplas



Pavimento – Tráfego

Semi-reboque, eixo traseiro tandem triplo



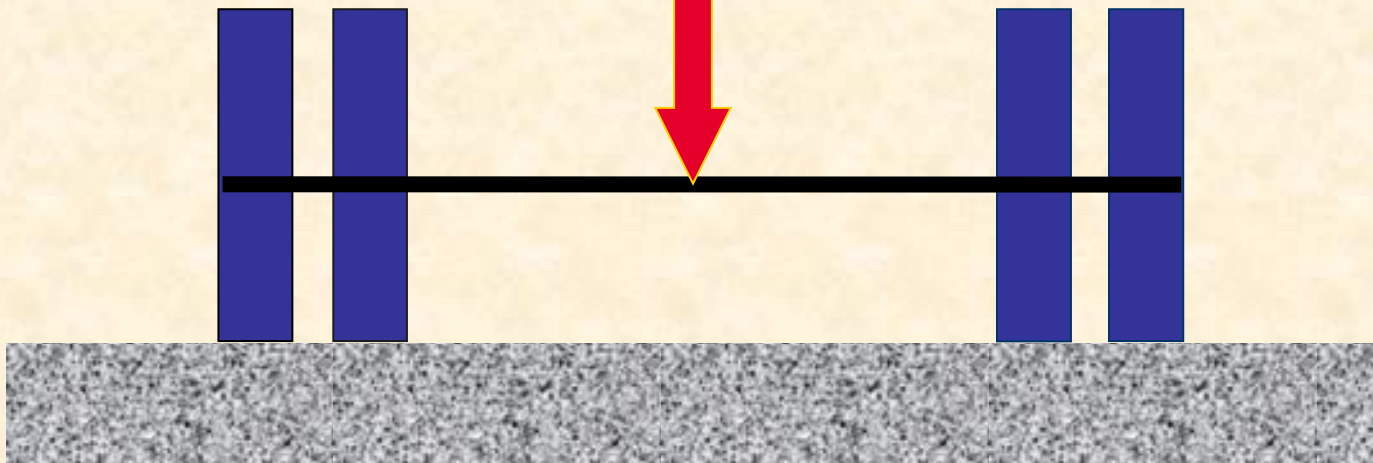
Tráfego – Método do DNER

Eixo padrão DNER – eixo simples de rodas duplas carregado com $8,2 t_f$

raio do carregamento:
10,8 cm

$8,2 t_f$

pressão de enchimento do pneu:
80 psi ou $5,6 \text{ kgf/cm}^2$



Tráfego – Método do DNER

Fator de Equivalência de Carga (FEC)



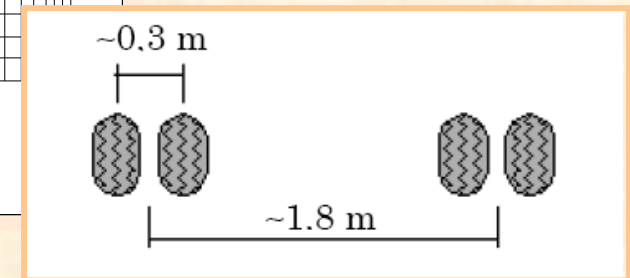
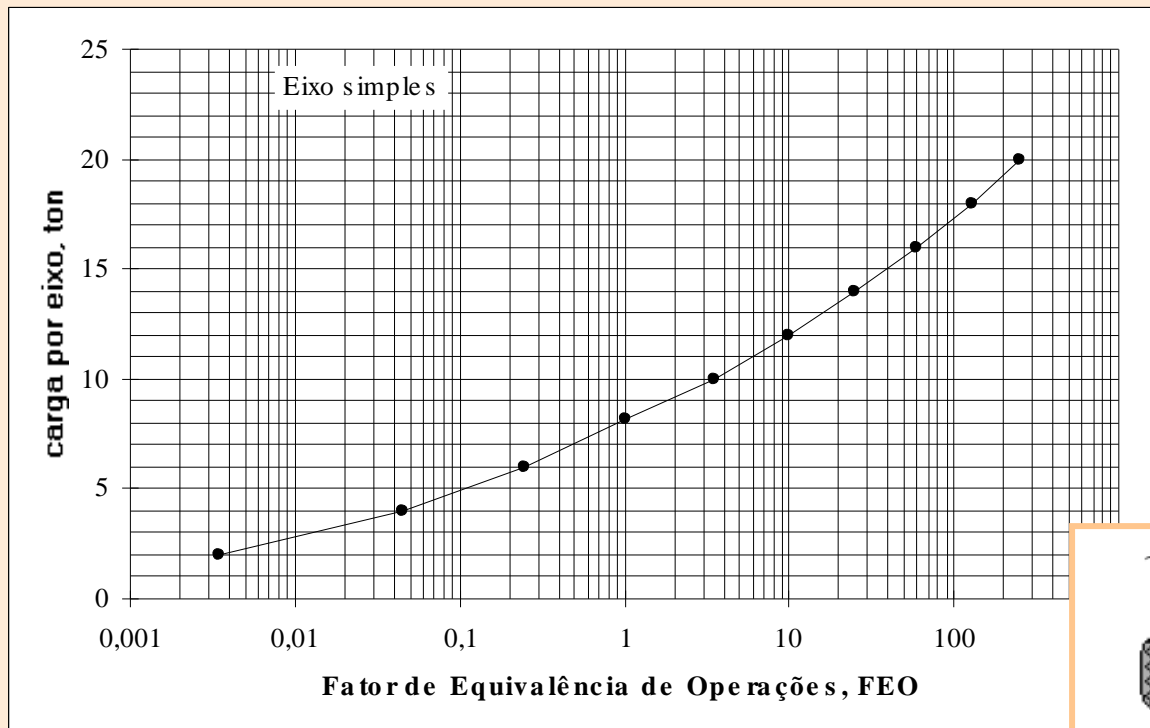
O número de operações N_i de uma carga qualquer é equivalente ao número de operações N_j da carga padrão (8,2 tf/eixo) se ambas provocam o mesmo efeito destrutivo no pavimento medido pelo índice de serventia ou então pela deformação permanente do subleito (+ usado no Brasil).

Tráfego - Método do DNER

Fator de equivalência de carga

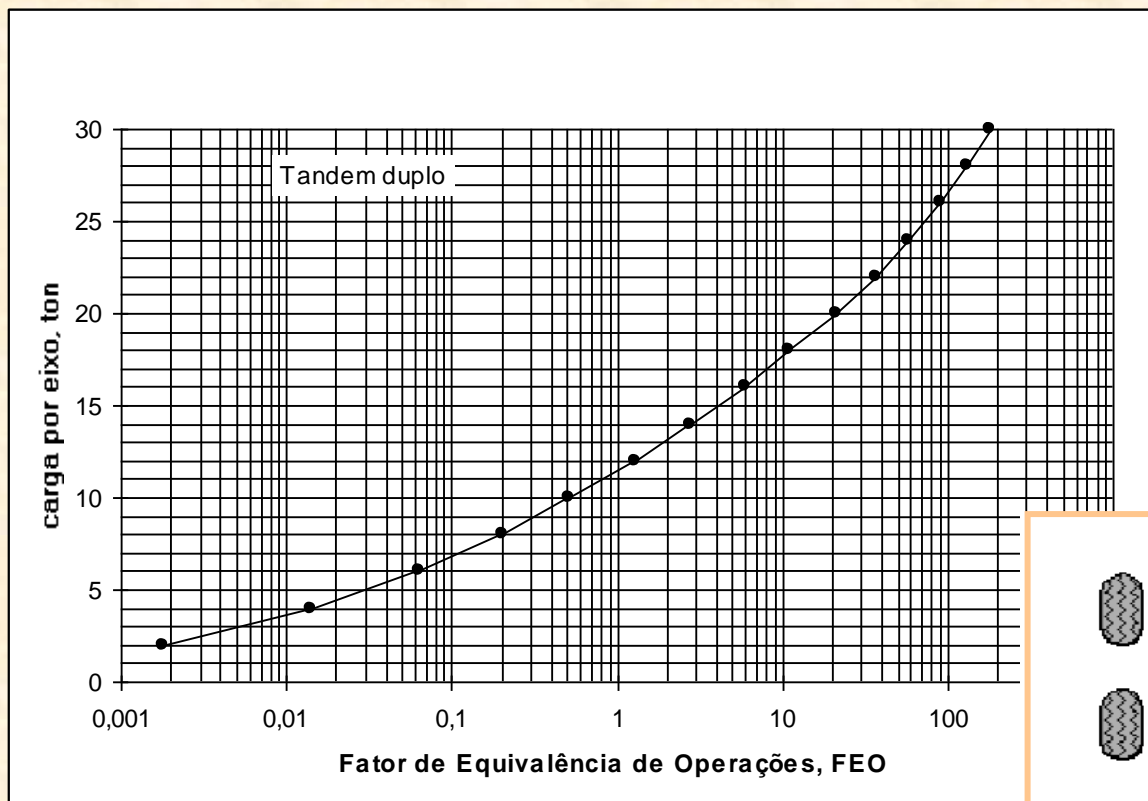


eixo
simples

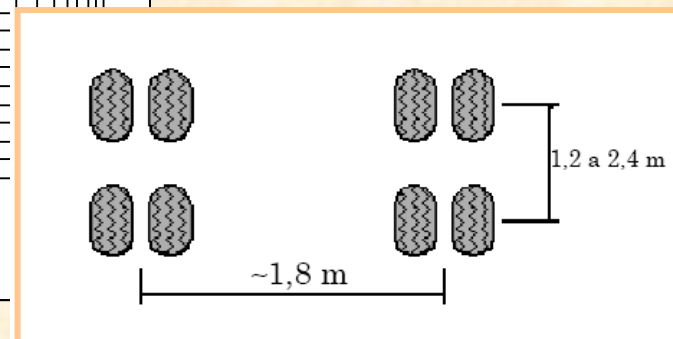


Tráfego - Método do DNER

Fator de equivalência de carga

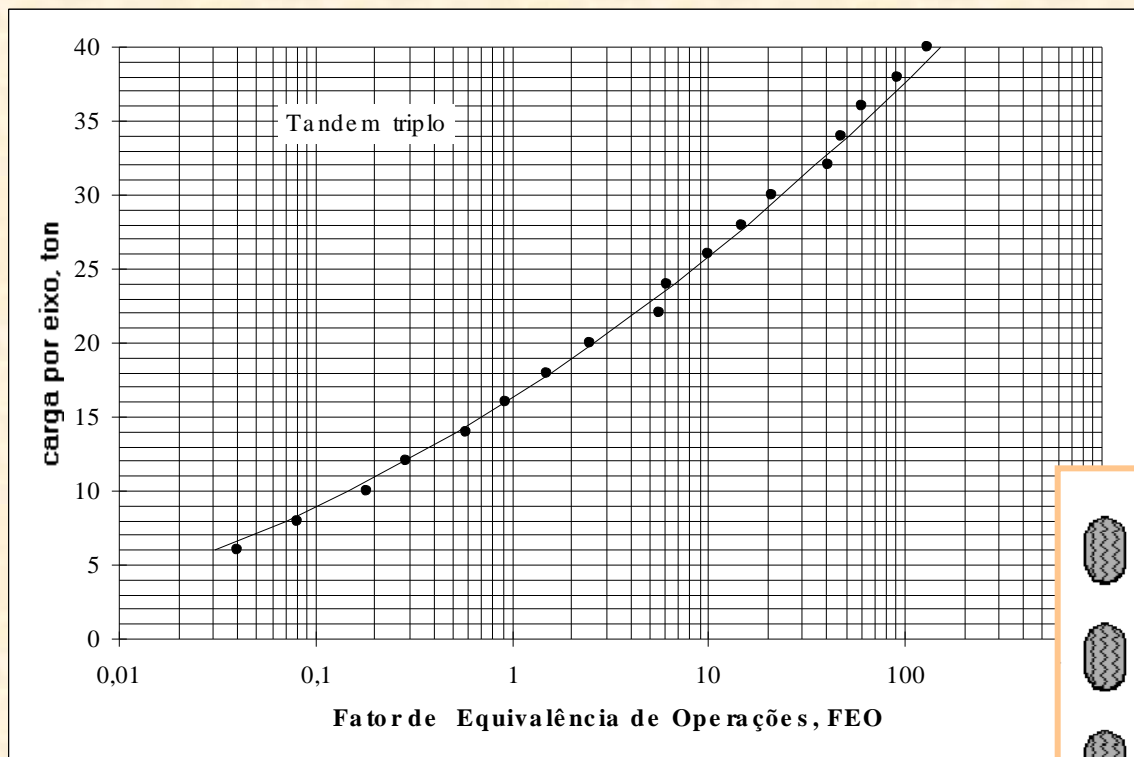


tandem
duplo

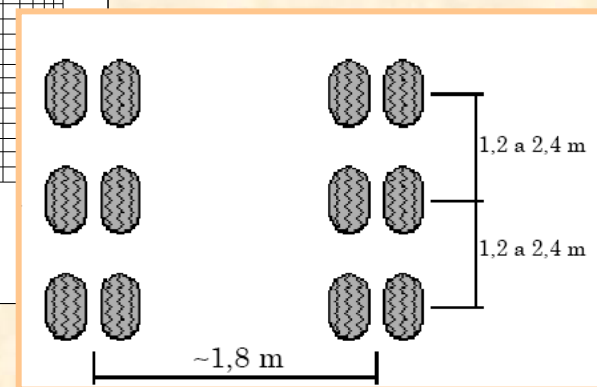


Tráfego - Método do DNER

Fator de equivalência de carga



tandem
triplo





Tráfego – Método do DNER

Fatores de equivalência de carga – DNIT (2006) / USACE

Tipo de eixo	Faixa de carga (tf)	FEC (P em tf)
Dianteiro e traseiro simples	0 – 8	$2,0782 \times 10^{-4} \times P^{4,0175}$
	≥ 8	$1,8320 \times 10^{-6} \times P^{6,2542}$
Tandem duplo	0 – 11	$1,5920 \times 10^{-4} \times P^{3,4720}$
	≥ 11	$1,5280 \times 10^{-6} \times P^{5,4840}$
Tandem triplo	0 – 18	$8,0359 \times 10^{-5} \times P^{3,3549}$
	≥ 18	$1,3229 \times 10^{-7} \times P^{5,5789}$










Tráfego – Método do DNER









Fatores de equivalência de carga – DNIT (2006) / AASHTO

Tipo de eixo	FEC (P em tf)
Simplex rodagem simples	$(P / 7,77)^{4,32}$
Simplex rodagem dupla	$(P / 8,17)^{4,32}$
Tandem duplo (rodagem dupla)	$(P / 7,77)^{4,14}$
Tandem triplo (rodagem dupla)	$(P / 22,95)^{4,22}$

Tráfego

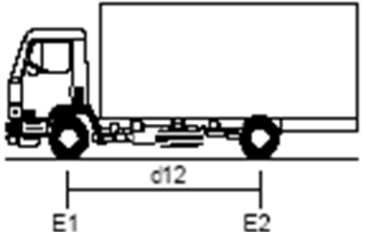
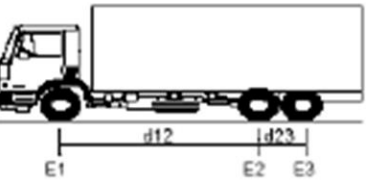
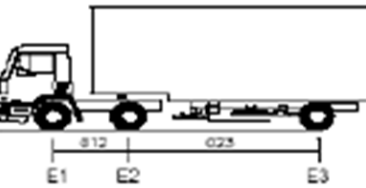
Principais Configurações de Veículos Usadas no País	<u>Peso Máximo Permitido por Eixo</u>	PBT	<u>PBT + Tolerância de 5%</u>	Comprimento máximo
	<u>6</u> +10	16,0t	16,800t	14,0m
	<u>6</u> +17	23,0t	24,150t	14,0m
	6+10+10	26,0t	27,300t	18,15m
	6+10+17	33,0t	34,650t	18,15m
	6+17+17	40,0t	42,000t	18,15m
	<u>6</u> +17+20	43,0t	45,150t	18,15m
	6+10+25,5	41,5t	43,575t	18,15m

Tráfego - Método do DNER

Principais Configurações de Veículos Usadas no País	<u>Peso Máximo Permitido por Eixo</u>	PBT	<u>PBT + Tolerância de 5%</u>	Comprimento máximo
	6+10+30	46,0t(1)	48,300t	18,15m
	6+17+25,5	48,5t(1)	50,925t	18,15m
	<u>6+17+10+17</u>	50,0t(1)	52,500t	18,15m
	<u>6+17+30</u>	53,0t(1)	55,650t	18,15m
	6+10+10+10	36,0t	37,800t	19,80m
	6+10+10+17	43,0t	45,150t	19,80m
	6+17+10+10	43,0t	45,150t	19,80m
	6+17+10+17	50,0t	52,500t	19,80m

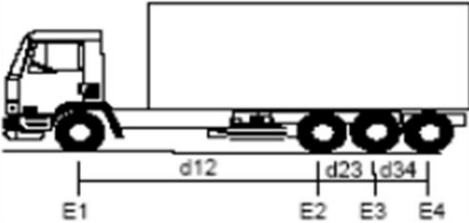
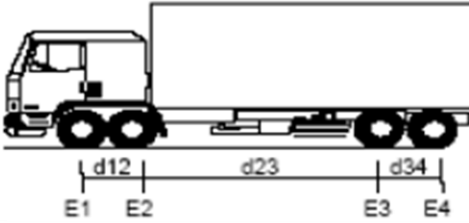

Tráfego - Método do DNER

Veículos adotados na classificação do DNIT – p. 51

silhueta	nº de eixos	PBT/CMT máx (t)	caracterização	classe
	2	16 (16,8)	caminhão, E1 = eixo simples (ES), rodagem simples (RS), carga máxima (CM) = 6t ou capacidade declarada pelo fabricante do pneumático, E2 = ES, rodagem dupla (RD), CM = 10t, $d12 \leq 3,50m$	2C
	3	23(24,2)	caminhão tratorado, E1 = ES, RS, CM = 6t E2E3 = ES, conjunto de eixos em tandem duplo TD, CM = 17t $d12 > 2,40m$, $1,20m < d23 < 2,40m$	3C
	3	26 (27,3)	caminhão trator + semi-reboque E1 = ES, RS, CM = 6t E2 = ED, RD, CM = 10t E3 = ED, RD, CM = 10t $d12, d23 > 2,40m$	2S1

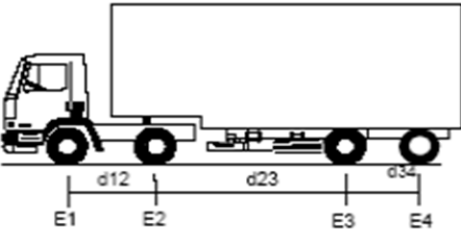
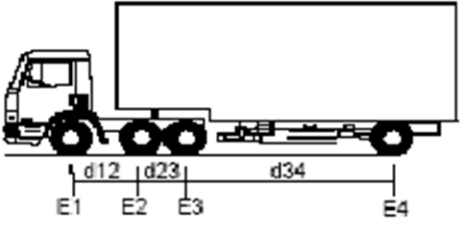
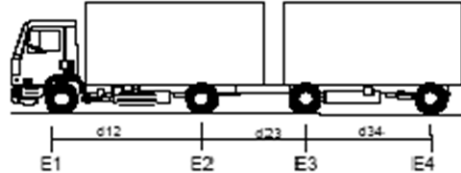
Tráfego - Método do DNER

Veículos adotados na classificação do DNIT – p. 51

silhueta	nº de eixos	PBT/CMT máx (t)	caracterização	classe
	4	31,5 (33,1)	<p>caminhão simples</p> <p>E1 = ES, RS, CM = 6t</p> <p>E2E3E4 = conjunto de eixos em tandem triplo TT, CM = 25,5t</p> <p>$d12 > 2,40m$, $1,20 < d23$, $d34 \leq 2,40m$</p>	4C
	4	29 (30,5)	<p>caminhão duplo-direcional trucado</p> <p>E1E2 = conjunto de eixos direcionais CED, CM = 12t</p> <p>E3E4 = TD, CM = 17t</p> <p>$1,20m < d34 < 2,40m$</p>	4CD
	4	33 (34,7)	<p>caminhão trator + semi-reboque</p> <p>E1 = ES, RS, CM = 6t</p> <p>E2 = ED, RD, CM = 10t</p> <p>E3E4 = TD, CM = 17t</p> <p>$d12, d23 > 2,40m$, $1,20m < d34 \leq 2,40m$</p>	2S2

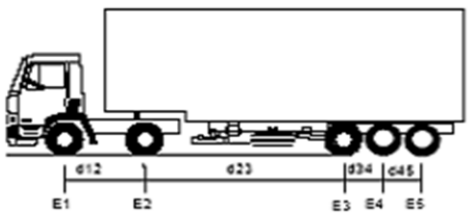
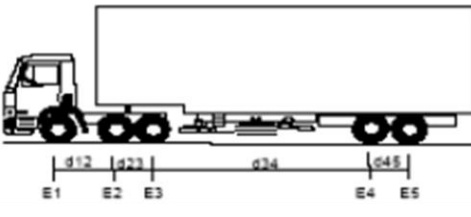
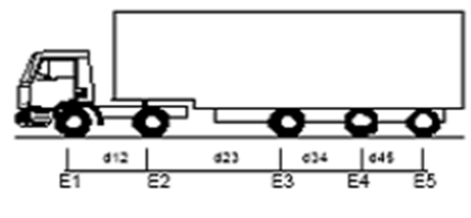
Tráfego - Método do DNER

Veículos adotados na classificação do DNIT – p. 51

silhueta	nº de eixos	PBT/CMT máx (t)	caracterização	classe
	4	36 (37,8)	caminhão trator + semi-reboque E1 = ES, RS, CM = 6t E2 = ED, RD, CM = 10t E3 = ED, RD, CM = 10t E4 = ED, RD, CM = 10t d12, d23, d34 > 2,40m	2I2
	4	33 (34,7)	caminhão trator trucado + semi-reboque E1 = ES, RS, CM = 6t E2E3 = TD, CM = 17t E4 = ED, RD, CM = 10t d12, d34 > 2,40m, 1,20m < d34 < 2,40m	3S1
	4	36 (37,8)	caminhão + reboque E1 = ES, RS, CM = 6t E2 = ED, RD, CM = 10t E3 = ED, RD, CM = 10t E4 = ED, RD, CM = 10t d12, d23, d34 > 2,40m	2C2


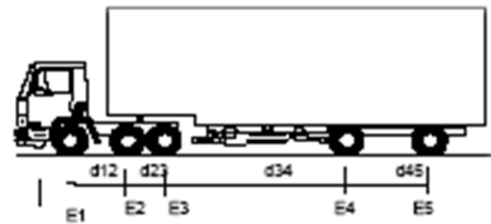
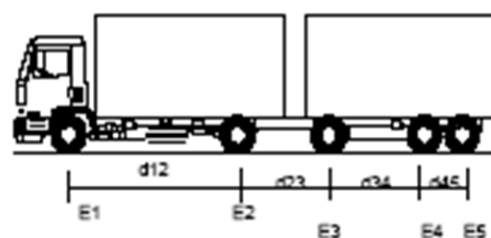
Tráfego - Método do DNER

Veículos adotados na classificação do DNIT – p. 51

silhueta	nº de eixos	PBT/CMT máx (t)	caracterização	classe
	5	41,5 (43,6)	caminhão trator + semi-reboque E1 = ES, RS, CM = 6t E2 = ED, RD, CM = 10t E3E4E5 = TT, CM = 25,5t d12, d23 > 2,40m 1,20m < d34, d45 ≤ 2,40m	2S3
	5	40 (42)	caminhão trator trucado + semi-reboque E1 = ES, RS, CM = 6t E2E3 = TD, CM = 17t E4E5 = TD, CM = 17t d12, d34 > 2,40m 1,20m < d23, d45 ≤ 2,40m	3S2
	5	45 (47,3)	caminhão trator + semi-reboque E1 = ES, RS, CM = 6t, E2 = ED, RD, CM = 10t E3 = ED, RD, CM = 10t E4 = ED, RD, CM = 10t E5 = ED, RD, CM = 10t d12, d23, d34, d45 > 2,40m	2I3

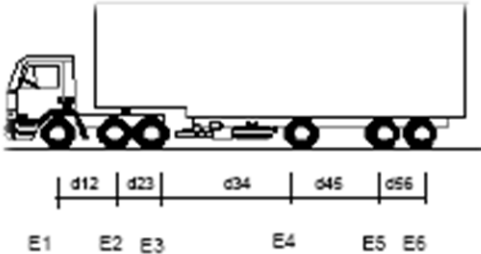
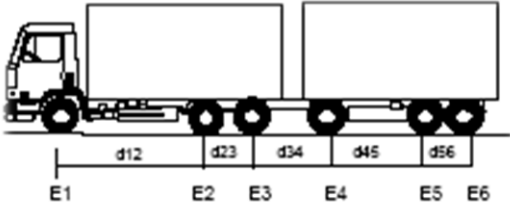
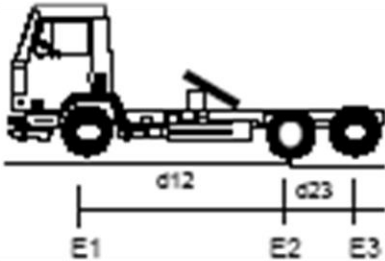
Tráfego - Método do DNER

Veículos adotados na classificação do DNIT – p. 51

silhueta	nº de eixos	PBT/CMT máx (t)	caracterização	classe
	5	43 (45,2)	caminhão trator + semi-reboque E1 = ES, RS, CM = 6t E2 = ED, RD, CM = 10t E3 = ED, RD, CM = 10t E4E5 = TD, CM = 17t d12, d23, d34 > 2,40m, 1,20m < d45 ≤ 2,40m	2J3
	5	43 (45,2)	caminhão trator trucado + semi-reboque E1 = ES, RS, CM = 6t E2E3 = TD, CM = 17t E4 = ED, CM = 10t E5 = ED, CM = 10t d12, d34, d45 > 2,40m, 1,20m < d23 ≤ 2,40m	3I2
	5	43 (45,2)	caminhão + reboque E1 = ES, RS, CM = 6t, E2 = ED, RD, CM = 10t E3 = ED, RD, CM = 10t E4E5 = TD, CM = 17t d12, d23, d34 > 2,40m, 1,20m < d45 ≤ 2,40m	2C3

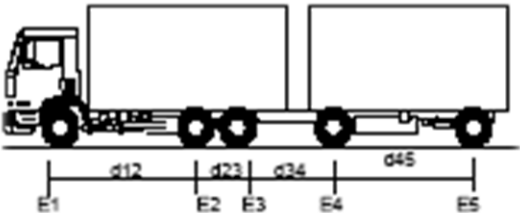
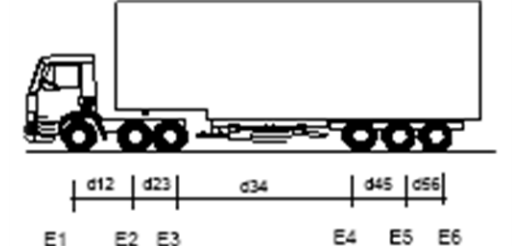
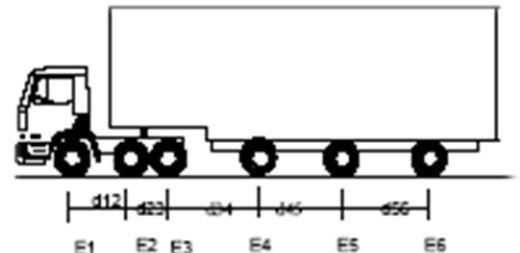
Tráfego - Método do DNER

Veículos adotados na classificação do DNIT – p. 51

silhueta	nº de eixos	PBT/CMT máx (t)	caracterização	classe
	6	45 (47,3)	caminhão trator trucado + semi-reboque E1 = ES, RS, CM = 6t, E2E3 = TD, CM = 17t E4 = ED, RD, CM = 10t E5E6 = TD, CM = 17t d12, d34, d45 > 2,40m 1,20m < d23, d56 ≤ 2,40m	3J3
	6	45 (47,3)	caminhão trator trucado + reboque E1 = ES, RS, CM = 6t, E2E3 = TD, CM = 17t E4 = ED, RD, CM = 10t E5E6 = TD, CM = 17t d12, d34, d45 > 2,40m 1,20m < d23, d56 ≤ 2,40m	3C3
	6	19,5 (20,5)	caminhão trator E1 = ES, RS, CM = 6t E2E3 = TD (6 pneus), CM = 13,5t 1,20m < d23 ≤ 2,40m A CMT do conjunto vai variar conforme a capacidade do semi-reboque, no mínimo, 10 t até, no máximo, o limite legal de 4 t	X

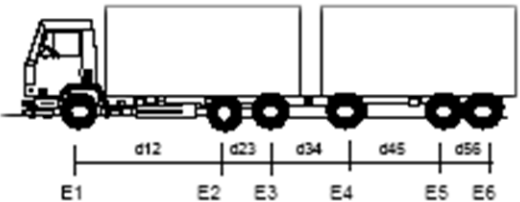
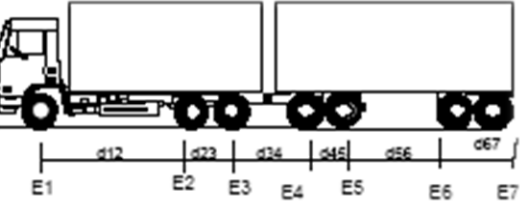
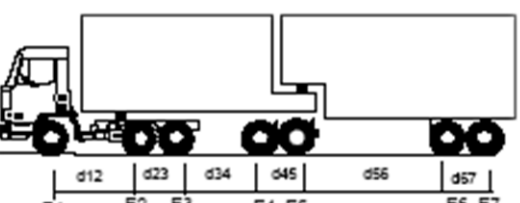
Tráfego - Método do DNER

Veículos adotados na classificação do DNIT – p. 51

silhueta	nº de eixos	PBT/CMT máx (t)	caracterização	classe
	5	43 (45,2)	caminhão trucado + reboque E1 = ES, RS, CM = 6t E2E3 = TD, CM = 17t E4 = ED, RD, CM = 10t E5 = ED, RD, CM = 10t d12, d34, d45 > 2,40m, 1,20m < d23 ≤ 2,40m	3C2
	6	45 (47,3)	caminhão trator trucado + semi-reboque E1 = ES, RS, CM = 6t E2E3 = TD, CM = 17t E4E5E6 = TT, CM = 25,5t d12, d34 > 2,40m 1,20m < d23, D45, D56 ≤ 2,40m	3S3
	6	45 (47,3)	caminhão trator trucado + semi-reboque E1 = ES, RS, CM = 6t, E2E3 = TD, CM = 17t E4 = ED, RD, CM = 10t E5 = ED, RD, CM = 10t E6 = ED, RD, CM = 10t d12, d34, d45, d56 > 2,40m 1,20m < d45 ≤ 2,40m	3I3

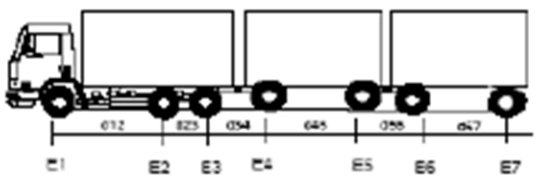
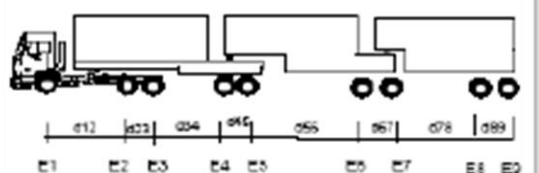
Tráfego - Método do DNER

Veículos adotados na classificação do DNIT – p. 51

silhueta	nº de eixos	PBT/CMT máx (t)	caracterização	classe
	6	50 (52,5)	Romeu e Julieta (caminhão trator + reboque) E1 = ES, RS, CM = 6t, E2E3 = TD, CM = 17t E4 = ED, RD, CM = 10t E5E6 = TD, CM = 17t d12, d34, d45 > 2,40m 1,20m < d23, d56 ≤ 2,40m	3D3
	7	57 (59,9)	Romeu e Julieta (caminhão trucado + reboque) E1 = ES, RS, CM = 6t, E2E3 = TD, CM = 17t E4E5 = TD, CM = 17t, E6E7 = TD, CM = 17t d12, d34, d56 > 2,40m 1,20m < d23, d45, d67 ≤ 2,40m	3D4
	7	57 (59,9)	Bitrem articulado (caminhão trator trucado + dois semi-reboques) E1 = ES, RS, CM = 6t, E2E3 = TD, CM = 17t E4E5 = TD, CM = 17t, E6E7 = TD, CM = 17t d12, d34, d56 > 2,40m 1,20m < d23, d45, d67 ≤ 2,40m	3D4

Tráfego - Método do DNER

Veículos adotados na classificação do DNIT – p. 51

silhueta	nº de eixos	PBT/CMT máx (t)	caracterização	classe
	7	63 (66,2)	<p>Treminhão (caminhão trucado + dois reboques)</p> <p>E1 = ES, RS, CM = 6t, E2E3 = TD, CM = 17t E4 = ED, RD, CM = 10t E5 = ED, RD, CM = 10t E6 = ED, RD, CM = 10t E7 = ED, RD, CM = 10t</p> <p>d12, d34, d56, d67 > 2,40m 1,20m < d23 ≤ 2,40m</p>	3Q4
	9	74 (77,7)	<p>Tritrem (caminhão trator trucado + três semi-reboques)</p> <p>E1 = ES, RS, CM = 6t E2E3 = TD, CM = 17t E4E5 = TD, CM = 17t E6E7 = TD, CM = 17t E8E9 = TD, CM = 17t</p> <p>d12, d34, d56, d78 > 2,40m 1,20m < d23, d45, d67, d89 ≤ 2,40m</p>	3T6

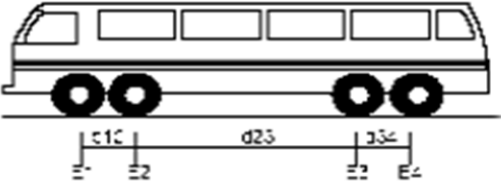
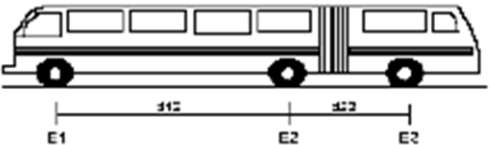

Tráfego - Método do DNER

Veículos adotados na classificação do DNIT – p. 51

silhueta	nº de eixos	PBT/CMT máx (t)	caracterização	classe
	9	74 (77,7)	Rodotrem (caminhão trator trucado + dois semi-reboque dom dolly) E1 = ES, RS, CM = 6t, E2E3 = TD, CM = 17t E4E5 = TD, CM = 17t E6E7 = TD, CM = 17t, E8E9 = TD, CM = 17t d12, d34, d56, d78 > 2,40m 1,20m < d23, d45, d67, d89 ≤ 2,40m	3T6
	2	16 (16,8)	Ônibus E1 = ES, RS, CM = 6t ou a capacidade declarada pelo fabricante do pneumático E2 = ED, RD, CM = 10t d12 ≤ 3,50m	2CB
	3	19,5 (20,5)	Ônibus trucado E1 = ES, RS, CM = 6t E2E3 = conjunto de eixos em tandem duplo com 6 pneumáticos, carga máxima de 13,5t d12 > 2,40m, 1,20m < d23 ≤ 2,40m	3CB

Tráfego - Método do DNER

Veículos adotados na classificação do DNIT – p. 51

silhueta	nº de eixos	PBT/CMT máx (t)	caracterização	classe
	4	25,5 (26,8)	<p>ônibus duplo diferencial trucado</p> <p>E1E2 = conjunto de eixos direcionais, carga máxima 12 t</p> <p>E3E4 = conjunto de eixos em tandem duplo com 6 pneumáticos, carga máxima 13,5t</p> <p>$1,20m < d34 \leq 2,40m$</p>	4CB
	3	26 (27,3)	<p>ônibus urbano articulado</p> <p>E1 = ES, RS, CM = 6t</p> <p>E2 = ED, RD, CM = 10t</p> <p>E3 = ED, RD, CM = 10t</p> <p>$d12, d23 > 2,40m$</p>	2SB1
	4	36 (37,8)	<p>ônibus urbano bi-articulado</p> <p>E1 = ES, RS, CM = 6t</p> <p>E2 = ED, RD, CM = 10t</p> <p>E3 = ED, RD, CM = 10t</p> <p>E3 = ED, RD, CM = 10t</p> <p>$d12, d23, d34 > 2,40m$</p>	2IB2

Tráfego

Cargas máximas - resumo

eixo simples roda simples \longrightarrow $6,0t_f$

roda dupla \longrightarrow $10,0t_f$

tandem duplo \longrightarrow $17,0t_f$

tandem triplo \longrightarrow $25,5t_f$

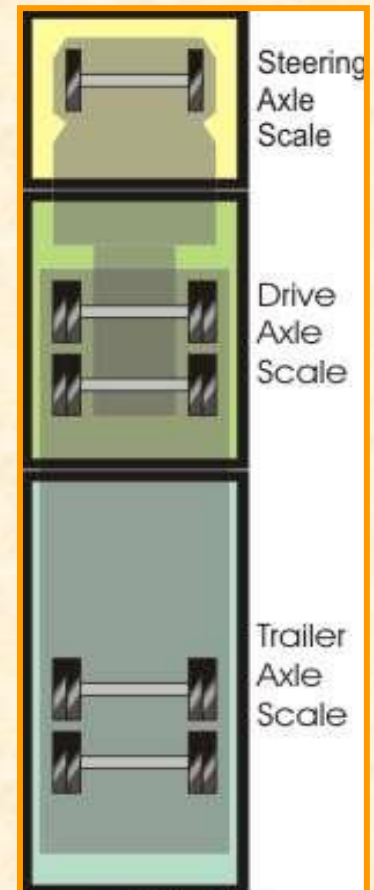
Tráfego

Balança



Tráfego

Balança





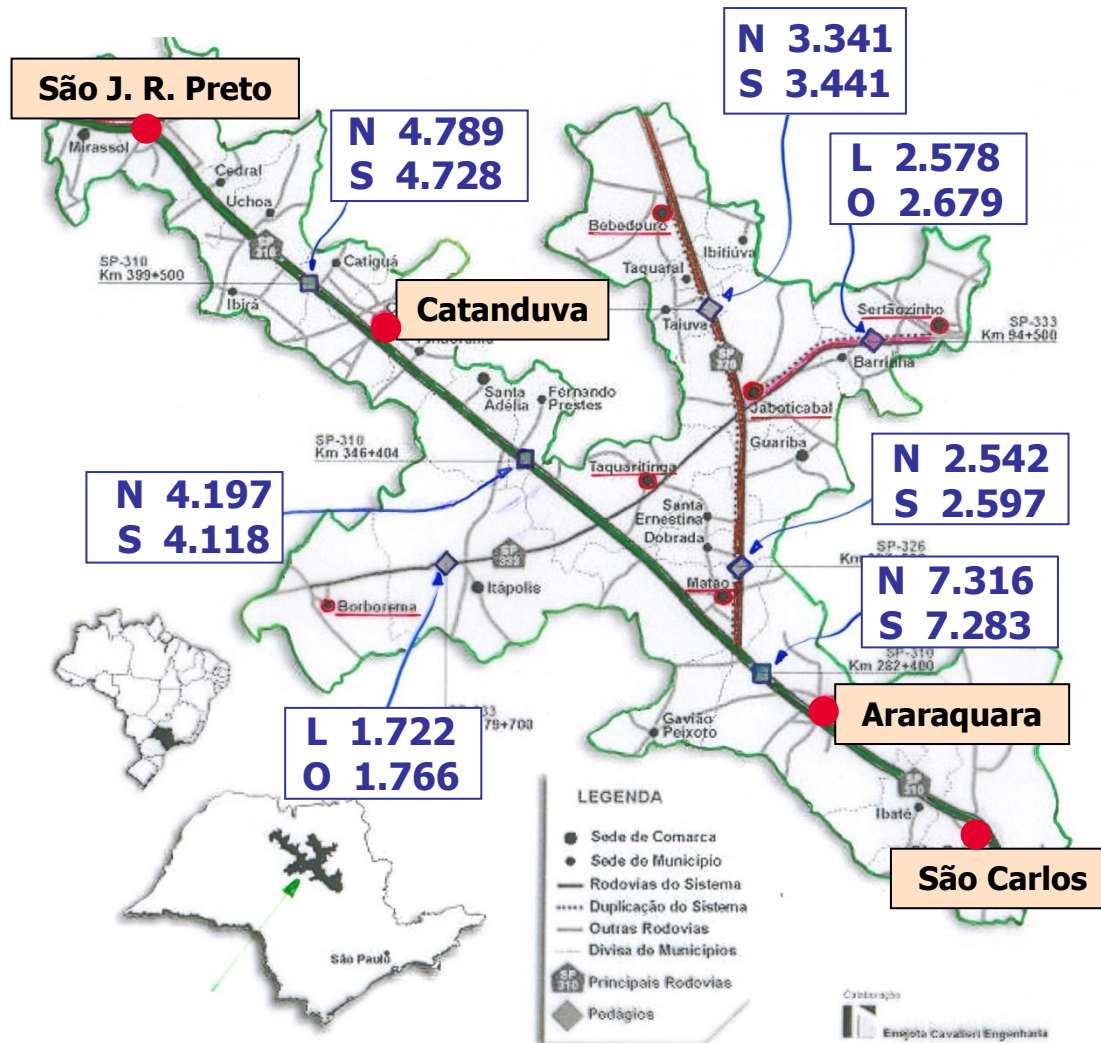
Tráfego – Definições

Volume Diário Médio Anual – VDM

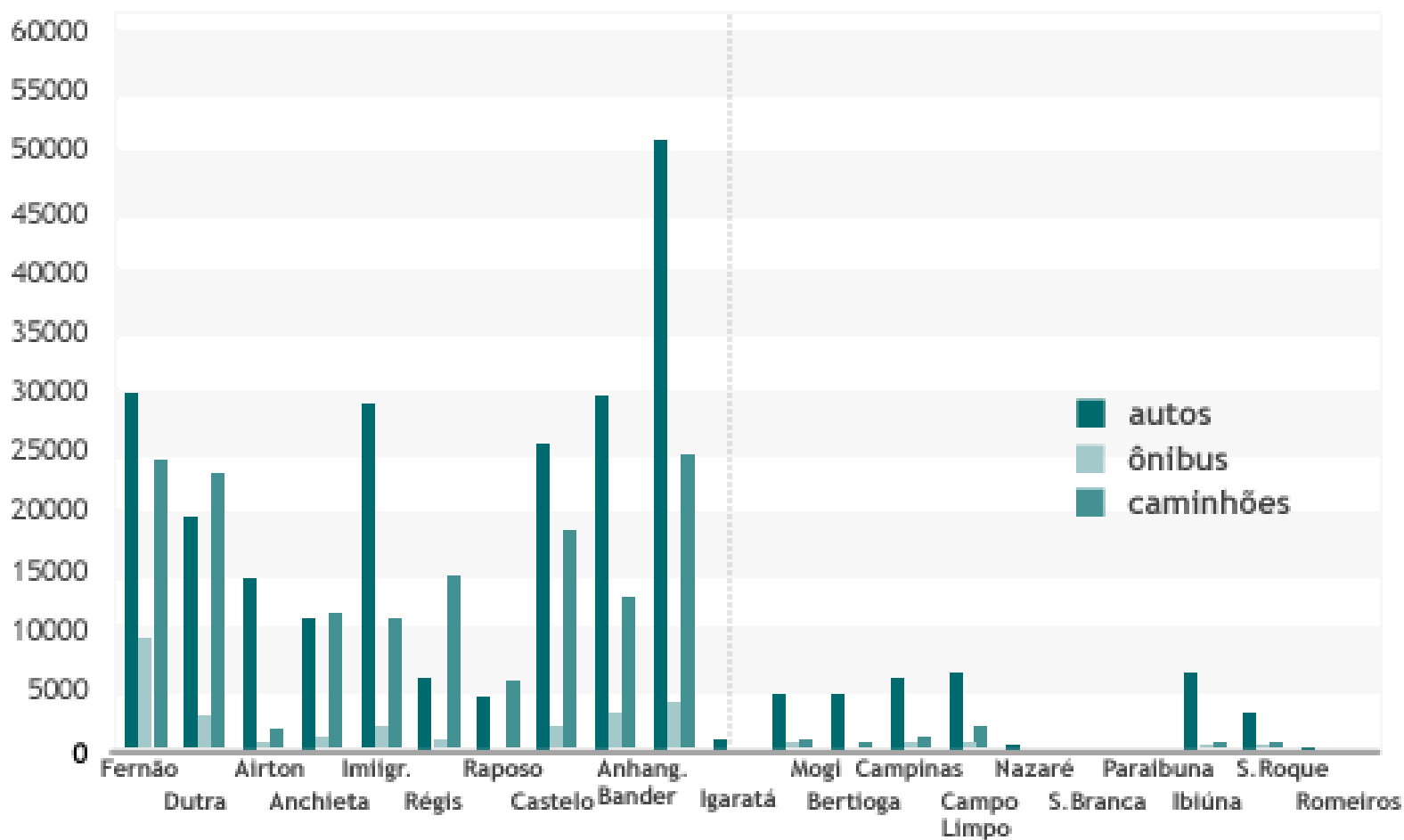
Número de veículos mistos que circulam nos dois sentidos em uma estrada durante um ano, dividido pelo número de dias do ano.

O **VDM** varia ao longo da vida útil da estrada

Tráfego - Volume Diário Médio Anual



Tráfego - Volume Diário Médio Anual





Tráfego - Definições

$$\text{VDM}_F = \text{VDM}_0 (1 + p.t)$$

crescimento linear

ou

$$\text{VDM}_F = \text{VDM}_0 (1 + t)^p$$

crescimento exponencial

VDM_0 = volume diário médio anual inicial

VDM_F = volume diário médio anual final

t = taxa anual de crescimento do tráfego – 3% a 5% ao ano

p = período de projeto ou vida útil do pavimento – 10 a 20 anos

Tráfego - Definições

$$\text{VDM}_M = (\text{VDM}_0 + \text{VDM}_F)/2$$

← **crescimento linear**

$$\text{VDM}_M = (\text{VDM}_0 + \text{VDM}_1 + \dots + \text{VDM}_p)/p$$

↑ **crescimento exponencial**

VDM_M = volume diário médio anual médio ou de projeto

VDM_0 = volume diário médio anual inicial

VDM_F = volume diário médio anual final

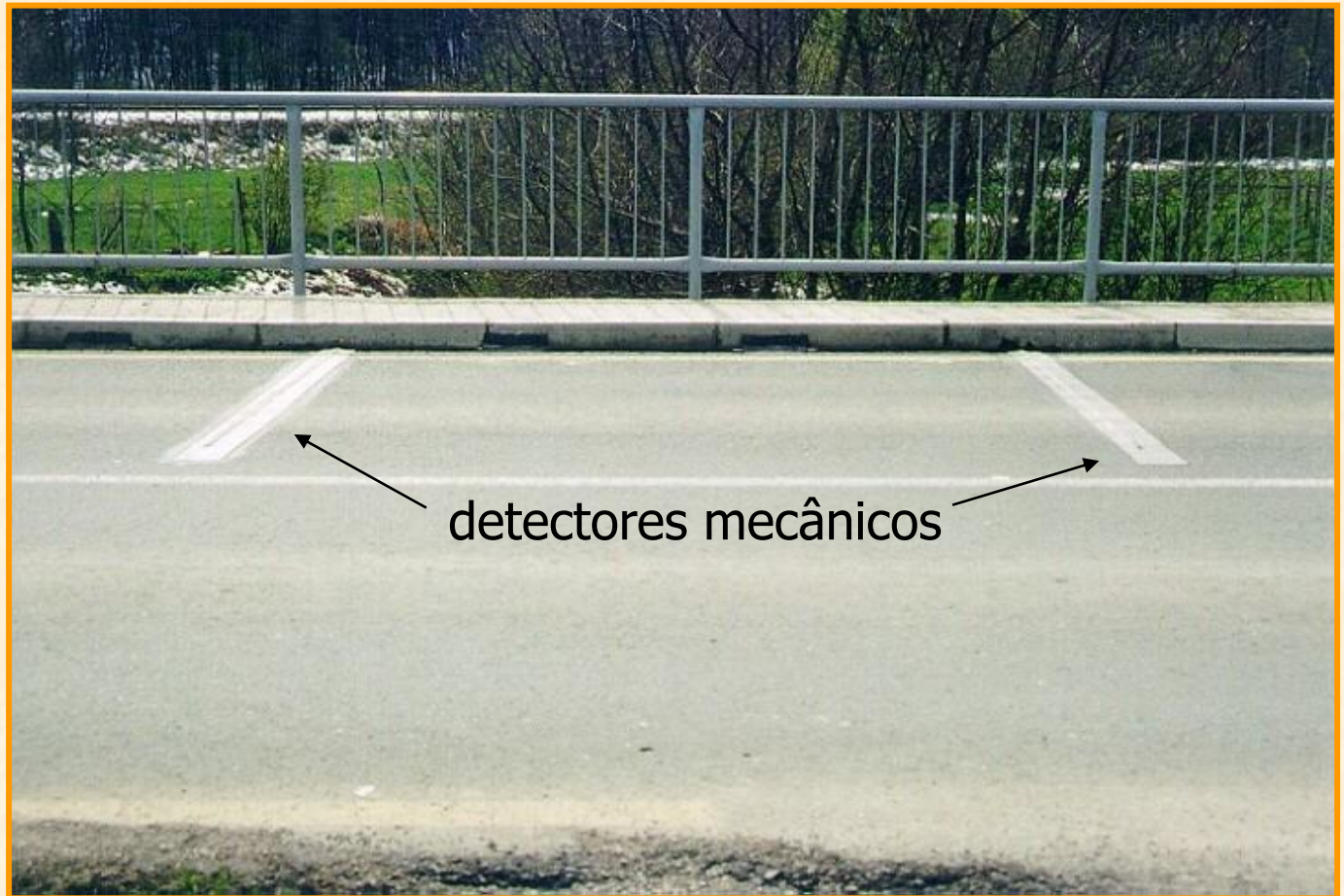
t = taxa anual de crescimento do tráfego – 3% a 5% ao ano

p = período de projeto ou vida útil do pavimento – 10 a 20 anos

Contagem e detectores de tráfego

Contagem:

- manual
- detectores
- filmagem



Tráfego - Método do DNER

- O dimensionamento é realizado para o número de solicitações equivalentes do eixo padrão de $8,2 t_f$ \longrightarrow **N**

$$N = 365 \cdot p \cdot VDM_M \cdot F_C \cdot F_P$$

N = número de solicitações de eixos simples de $8,2 t_f$;

p = período de projeto (anos);

VDM_M = volume diário médio anual médio;

F_C = fator de carga = f(fator de equivalência, fator de operação);

F_P = fator de ponderação de eixos

levam em consideração os tipos de veículos que circularão na rodovia e a composição da frota

Tráfego - Método do DNER

- O dimensionamento deve ser feito levando-se em consideração o **tráfego da faixa mais solicitada**. Na falta de levantamento específico, o DNER recomenda os seguintes valores:

NÚMERO DE FAIXAS DE TRÁFEGO (2 SENTIDOS)	% DE VEÍCULOS COMERCIAIS NA FAIXA DE PROJETO
2 (1 faixa em cada sentido)	50
4 (2 faixas em cada sentido)	35 a 48
6 ou mais faixas	25 a 48

Tráfego - TRB

Fator de distribuição do tráfego entre faixas em um sentido
(TRB – Transportation Research Board)

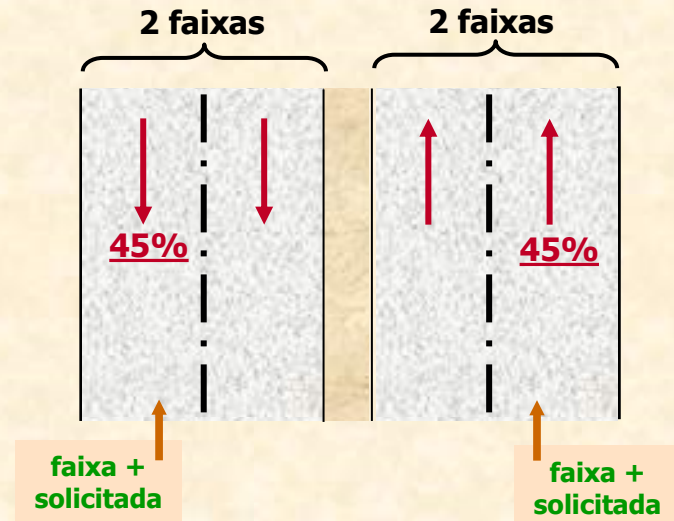
1 faixa → 0,50

2 faixas → 0,45

3 faixas → 0,30

4 faixas → 0,20

Exemplo:





Tráfego - Método do DNER

Espessuras mínimas de capa em função do tráfego

N	ESPESSURA MÍNIMA DO REVESTIMENTO
$N \leq 10^6$	TRATAMENTOS SUPERFICIAIS
$10^6 < N \leq 5 \times 10^6$	CBUQ - Espessura > 5,0 cm
$5 \times 10^6 < N \leq 10^7$	CBUQ - Espessura > 7,5 cm
$10^7 < N \leq 5 \times 10^7$	CBUQ - Espessura > 10,0 cm
$N > 5 \times 10^7$	CBUQ - Espessura > 12,5 cm