

O Impacto das CVCs no TT45

Eng. Fernando Stucchi**

Eng. Lorenzo Luchi*

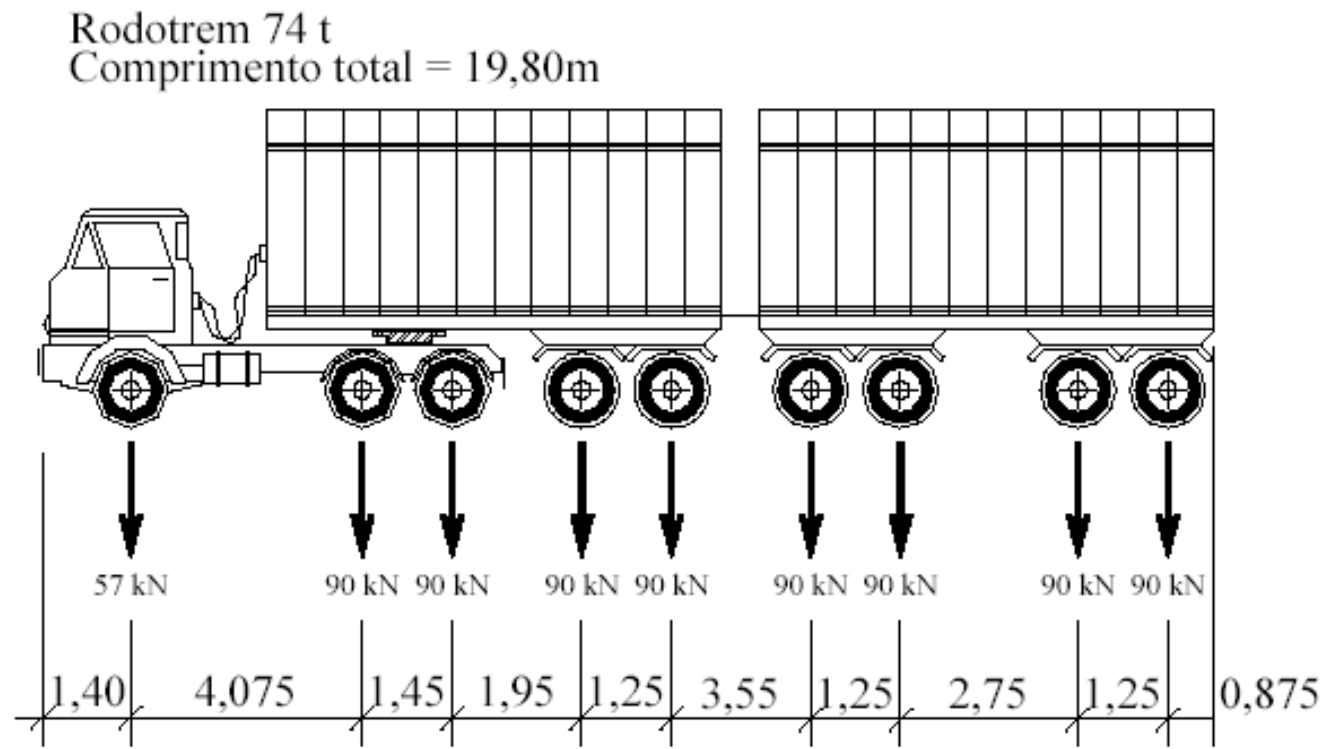
*E. Politécnica da USP

**E. Politécnica da USP e EGT Engenharia

Setembro/2011

1. O que são as CVCs.

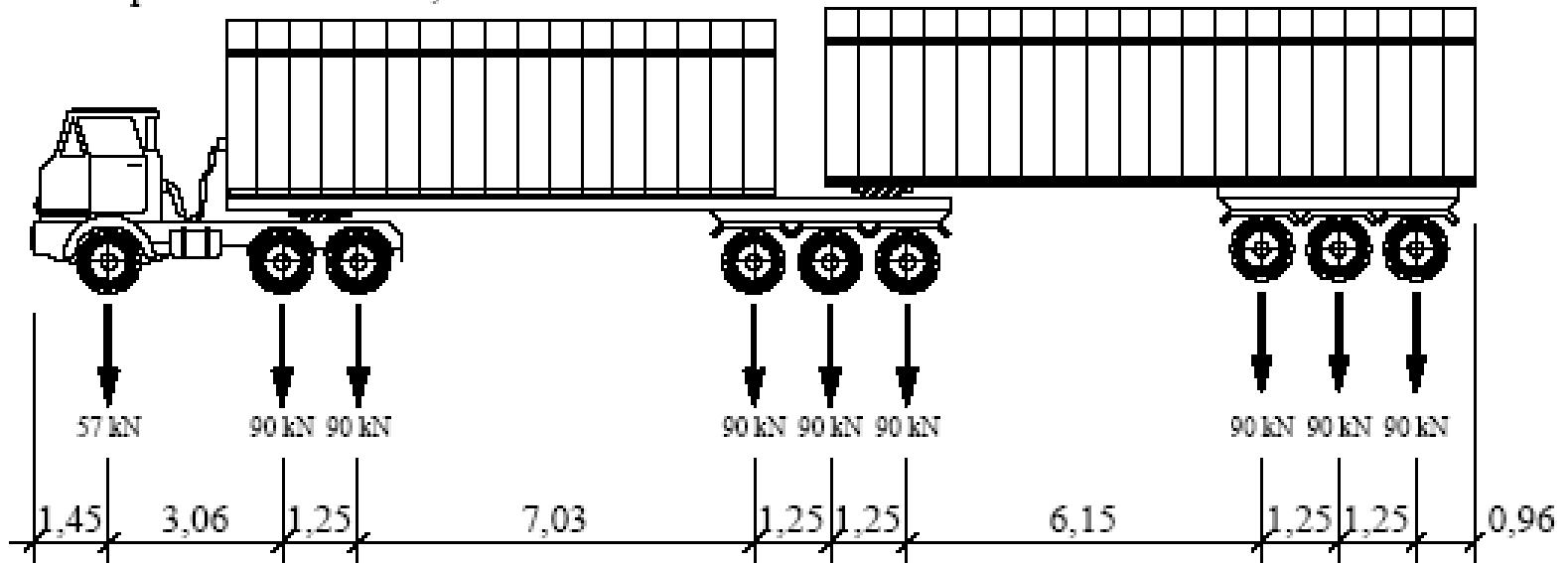
1.1 O CVC-74/20



CVC 74/25 tem os mesmos 8 eixos mais distribuidos em 24,8m.

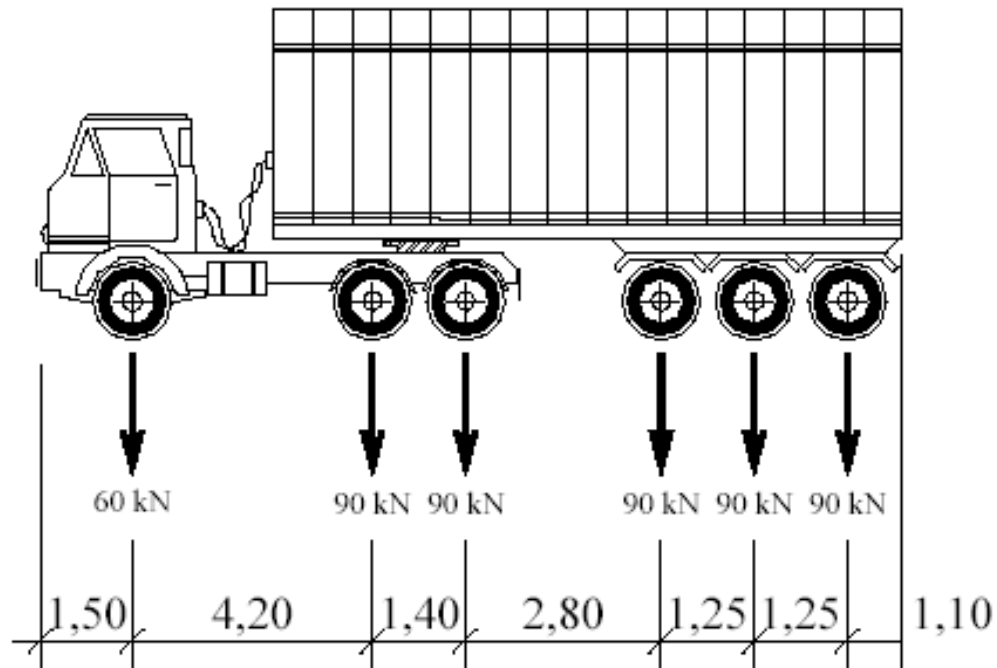
1.2 O CVC-74/25

Bi-Trem 74 t
Comprimento total = 24,90m



1.3 O CVC-48/13,5

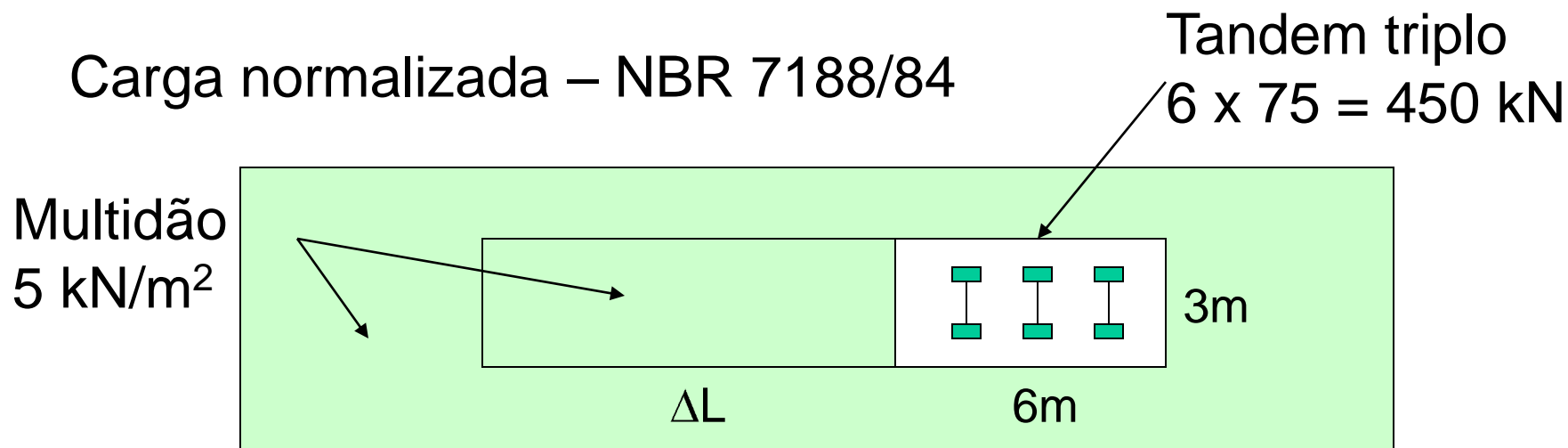
Basculante 48,5 t
Comprimento total = 13,50m



2. Necessidade x Possibilidade

2.1 Necessidade – Redução de custo
Distribuição/Importação/Exportação
Concorrência Ferrovia x Rodovia

2.2 Possibilidade – Limitação das OAEs e dos Pavimentos
Cargas normalizadas



3. Avaliação de cargas reais

A carga normalizada permitiria:

Carreta de 20x3m ----- 660 kN----- CVC 74/20 ??? (+12%)

Carreta de 25x3m ----- 740 kN ----- CVC 74/25 OK

Areeiro de 13,5x3m --- 490kN ----- CB 48/13,5 OK

Essas avaliações são aproximadas, pois além da carga total da carreta, é também importante a sua distribuição, sobretudo ao longo do comprimento. De qualquer forma:

- quanto maior for a carga total, mais comprido deve ser o caminhão.

- essa avaliação é em geral segura, boa para liberação expedita de cargas.

Esse critério e outros que misturam carga real com carga normalizada, infelizmente **não estão corretos**. A carga normalizada, **definida a priori**, cobre em geral as cargas reais, **mas não as representa de forma correta**. Assim, **não é correto misturar a CVC com a multidão de 5 kN/m², ou representá-la pelo Tandem de 450kN mais uma área adicional de multidão**.

4. O ideal é comparar esforços.

Isto é, comparar momento fletores e forças cortantes provocados pela carga normalizada com os correspondentes provocados pelas cargas reais. O problema é que esses últimos são muito difíceis de determinar pois correspondem a funções de variáveis aleatórias (**trem de carga aleatório**).

Carga normalizada no tabuleiro - largura B

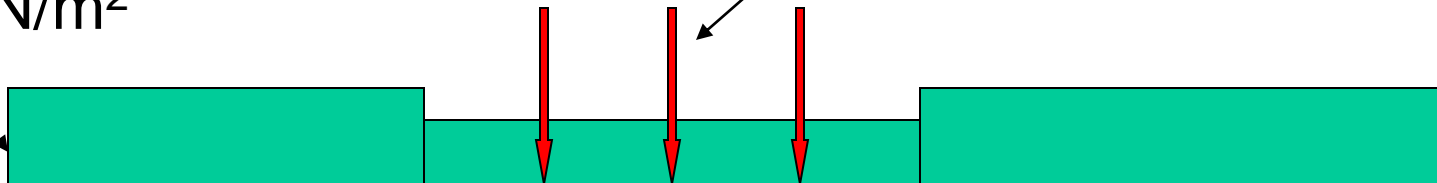
Valores nominais a priori

Multidão

$$B \cdot 5 \text{ kN/m}^2$$

Tandem triplo

$$3 \times 150 = 450 \text{ kN}$$

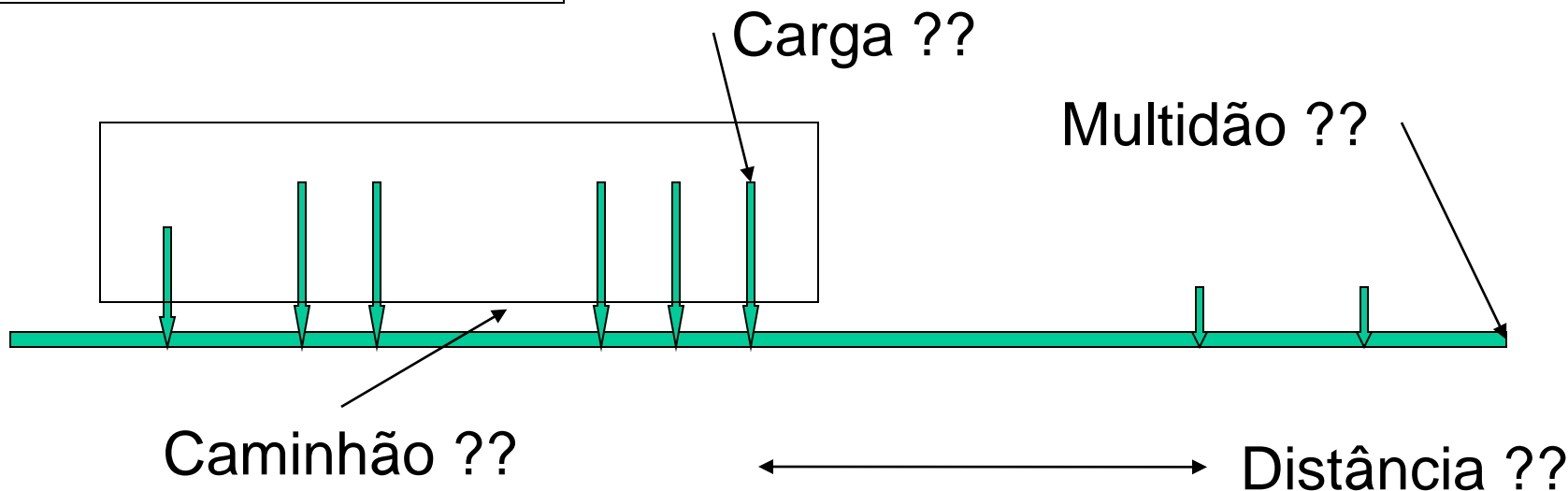


Multidão

$$(B-3) \cdot 5 \text{ kN/m}^2$$

Carga real por faixa

Trem de cargas aleatório



O trem de carga aleatório exige dados estatísticos de:

- frequência de cada tipo de veículo
- média e desvio padrão da carga de cada eixo desse veículo
- distância entre veículos
- existe multidão? Qual?

5. Dados levantados e usados em pesquisa

Centrovias e Nova-Dutra disponibilizaram esse tipo de dados levantados em monitoração contínua que estão sendo usados em tese de doutoramento (Eng. Lorenzo Luchi).

O objetivo central é verificar se a carga normalizada cobre as cargas reais respeitando **um período médio de retorno de 140 anos (NBR8681), isto é, cobrindo 99,3% dos casos por ano e 70% em 50 anos.**

Posteriormente pretende-se estudar a fadiga. Já está sendo estudada pelo Eng. Daniel Miranda.

6. Comparações

6.1. Comparação das cargas normalizadas brasileiras com as internacionais – **NBR7188/84** com a americana **AASHTO** e o Eurocódigo **EC1**.

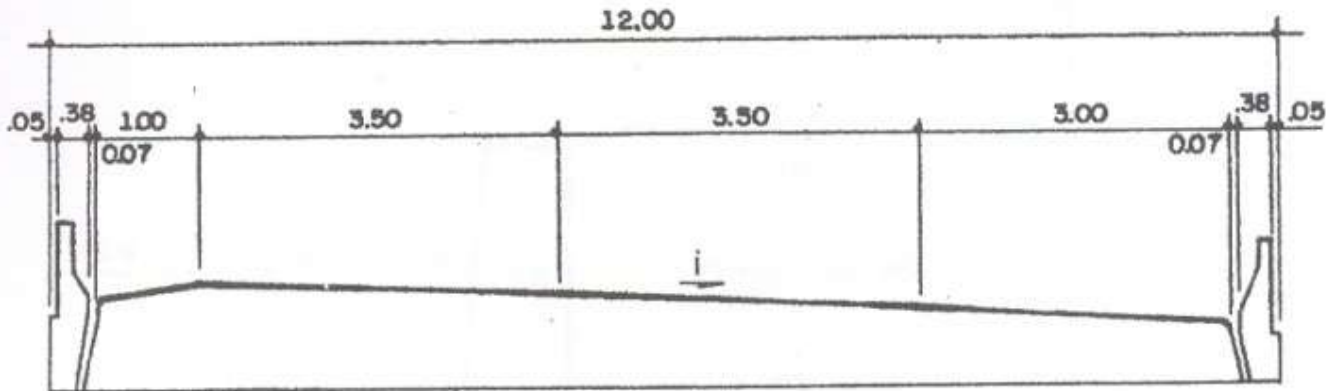
A. Críticas

- a NBR só considera 1 caminhão pesado sobre a obra e não ao menos um por faixa, como noutras normas internacionais.
- ela considera uma multidão muito pesada de 5 kN/m² em todo o leito transitável.

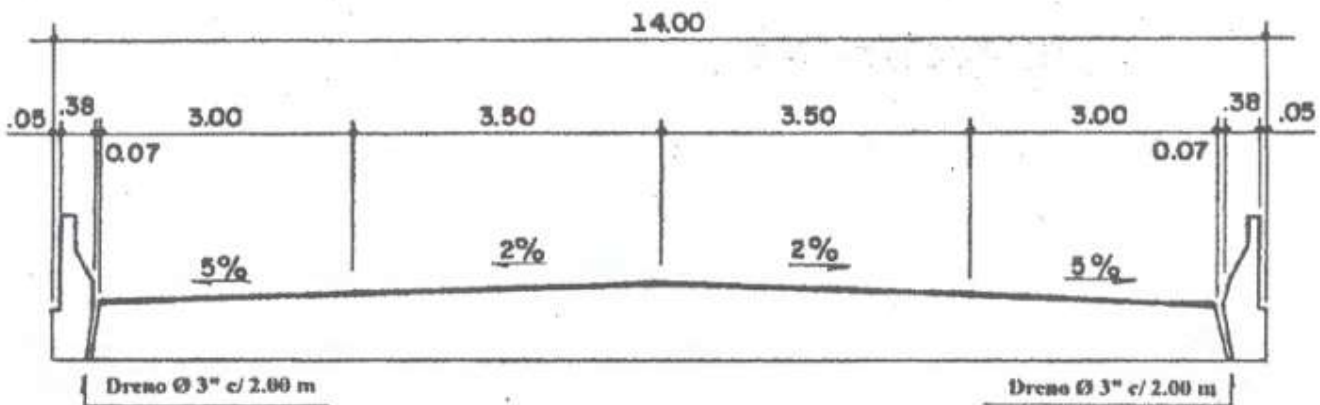
B. Comparações de esforços solicitantes.

A **AASHTO** e o **EC1**, são normas mais modernas às quais não se aplicam as críticas anteriores.

Consideram-se obras de pista dupla com 11 e 13m de largura, caixa esforços de cálculo, considerando os esf. de cálculo.



B=11m

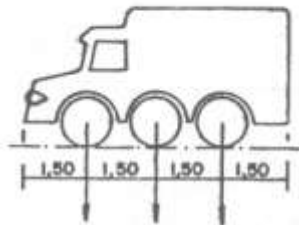


B=13m

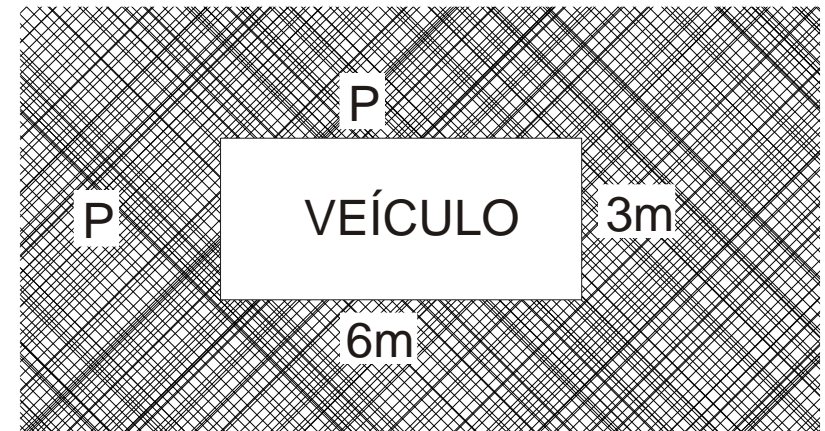
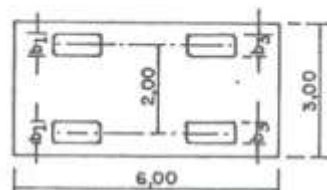
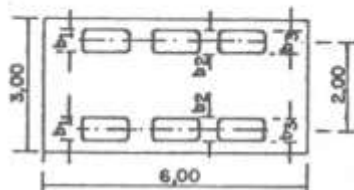
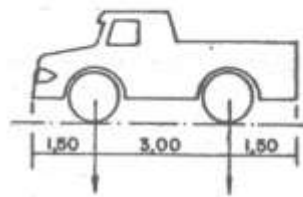
B1. O TT45 da NBR 7188

Classe da Ponte	Veículo		Carga uniformemente distribuída		Distribuição da carga
	Tipo	Peso Total	P	p'	
		(kN)	(kN/m ²)	(kN/m ²)	
45	45	450	5	3	Carga p em toda a pista
30	30	300	5	3	
12	12	120	4	3	Carga p' nos passeios

TIPOS 45 E 30



TIPO 12

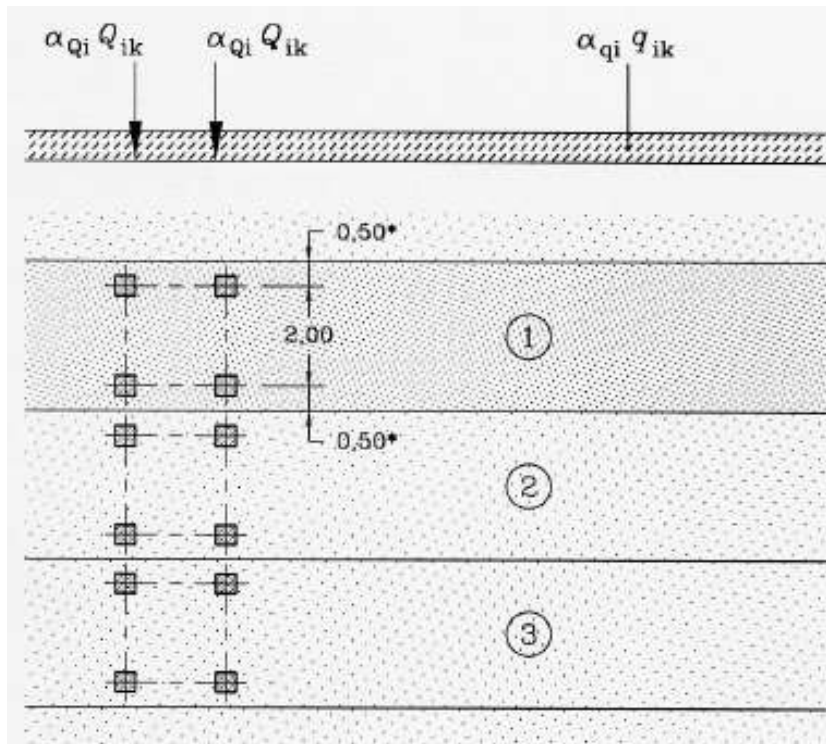


B2. O TremTipo do EC1

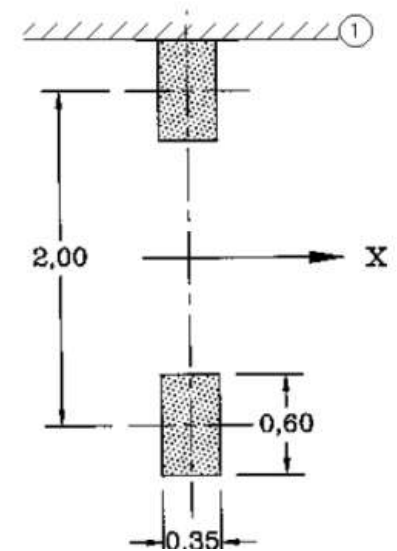
Largura Trafegável	Número de faixas de tráfego	Largura da faixa de tráfego	Largura da área remanescente
$w < 5,4 \text{ m}$	$n = 1$	3,0 m	$w - 3,0 \text{ m}$
$5,4 \text{ m} \leq w < 6 \text{ m}$	$n = 2$	$w/2$	0
$6 \text{ m} \leq w$	$n = \text{Int}(w/3)$	3,0 m	$w - 3,0 \times n$

Posição	Sistema Tandem	Sistema UDL
	Cargas por eixo Q_{ik} (kN)	q_{ik} (kN/m ²)
Faixa número 1	300	9
Faixa número 2	200	2,5
Faixa número 3	100	2,5
Outras faixas	0	2,5
Áreas remanescentes	0	2,5

Modelo 1

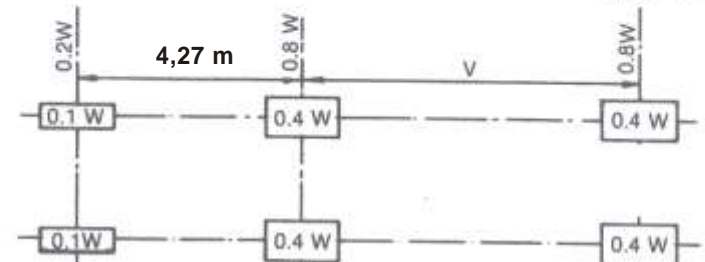
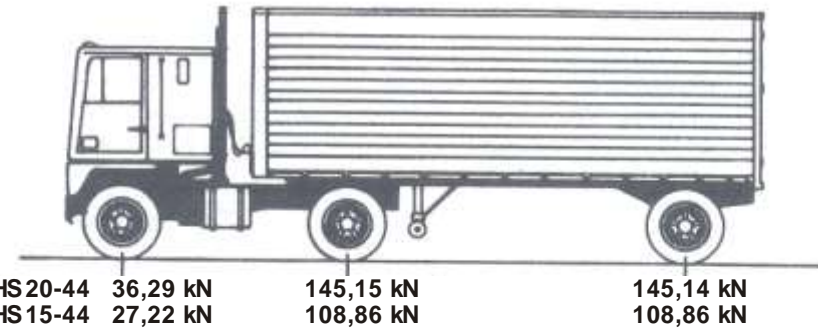


Modelo 2

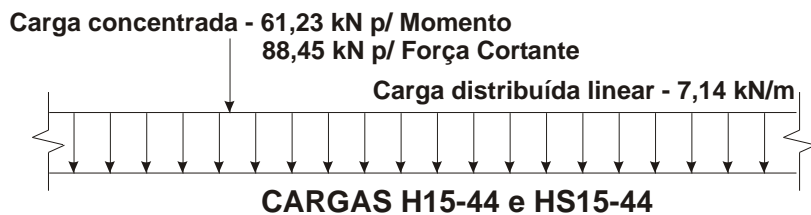
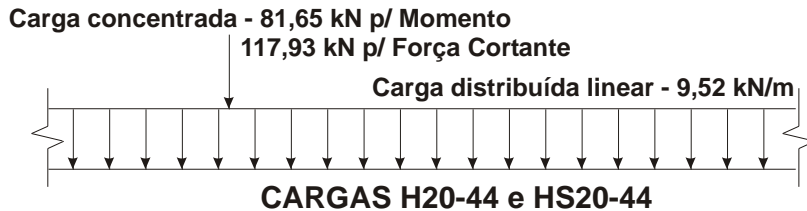


B3. O TremTipo da AASHTO - LFRD

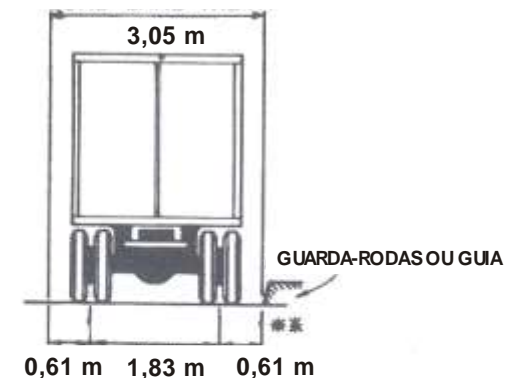
Nº. de faixas carregadas	Fator de redução
1 a 2	1,0
3	0,90
4 ou mais	0,75



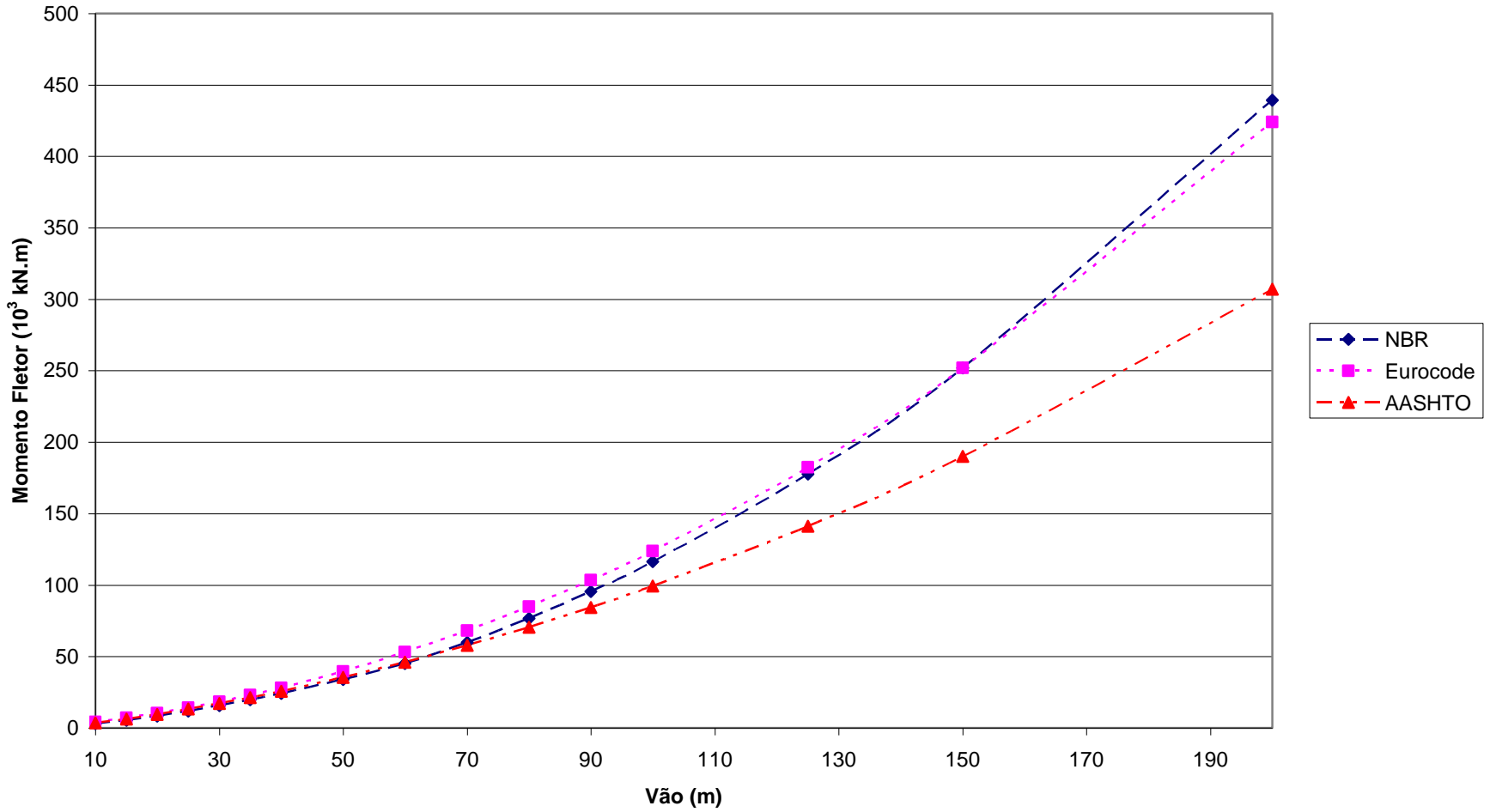
W = Carga combinada dos dois primeiros eixos, que é a mesma do caminhão tipo H correspondente
 V = Espaçamento variável - 4,27 a 9,14 m inclusive; utilizar o espaçamento que seja mais desfavorável



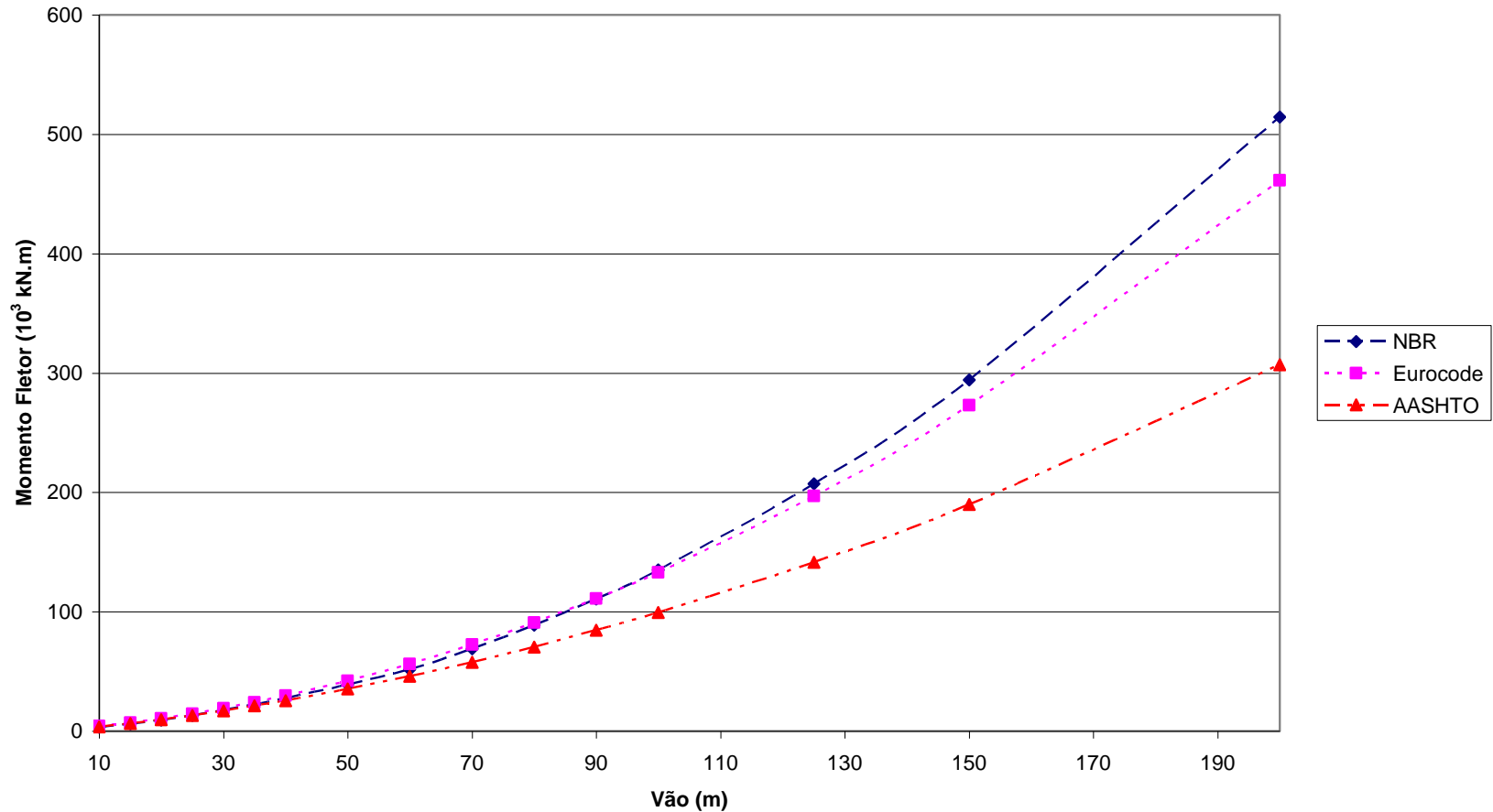
LARGURA DO VEÍCULO



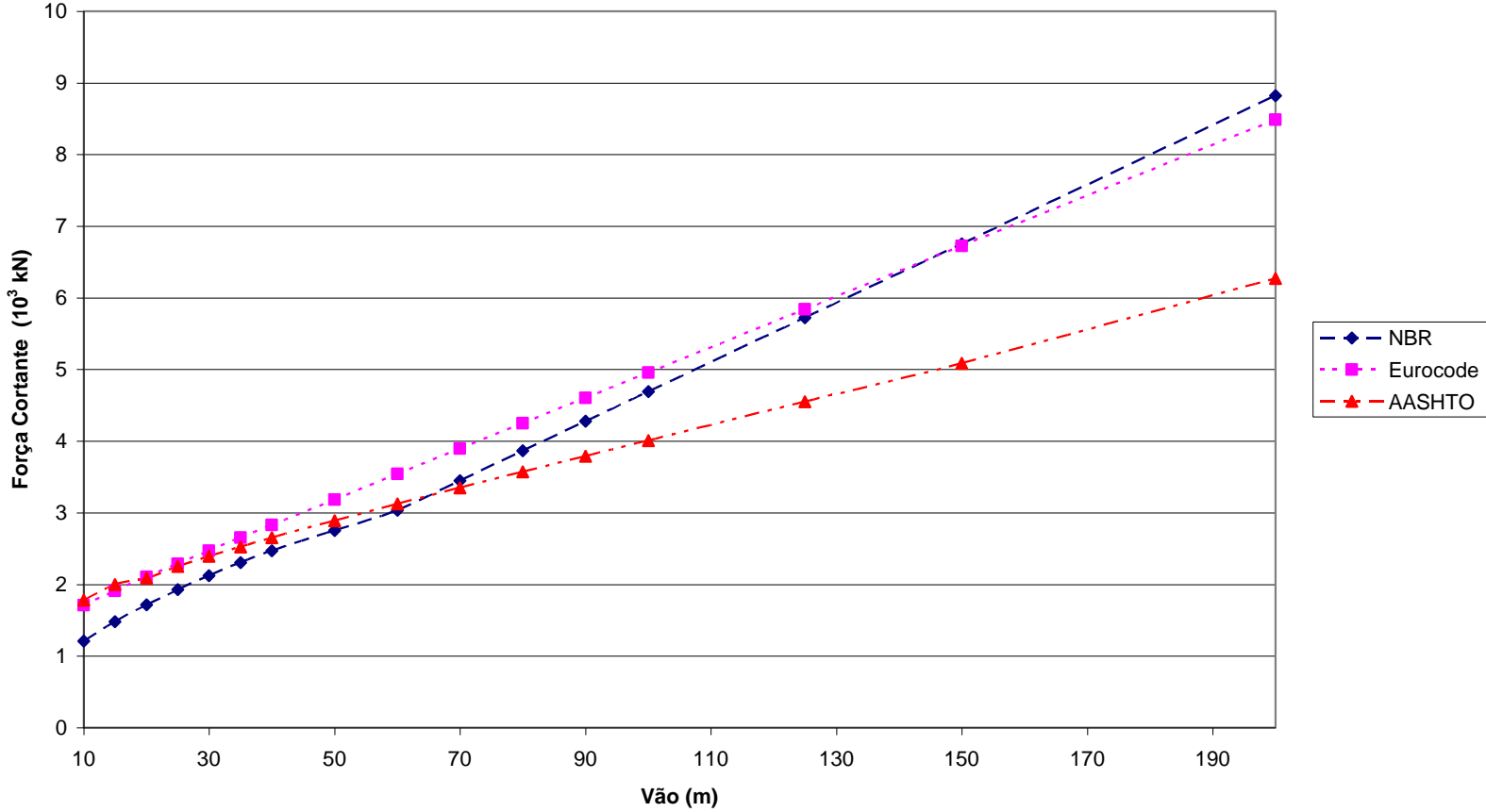
Momento Fletor Máximo em Pontes Biapoiadas - Largura de 11,0 m



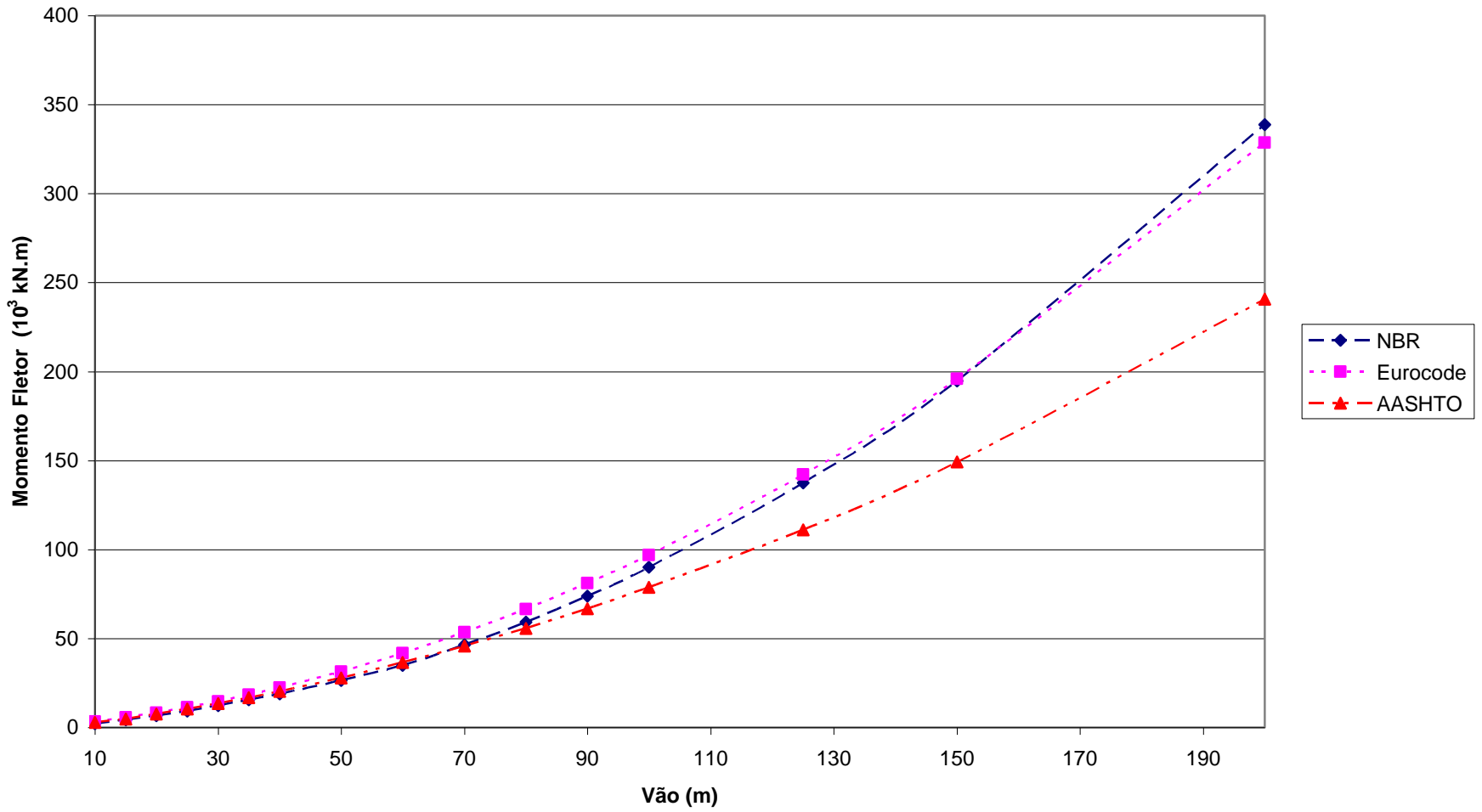
Momento Fletor Máximo em Pontes Biapoiadas - Largura de 13,0 m



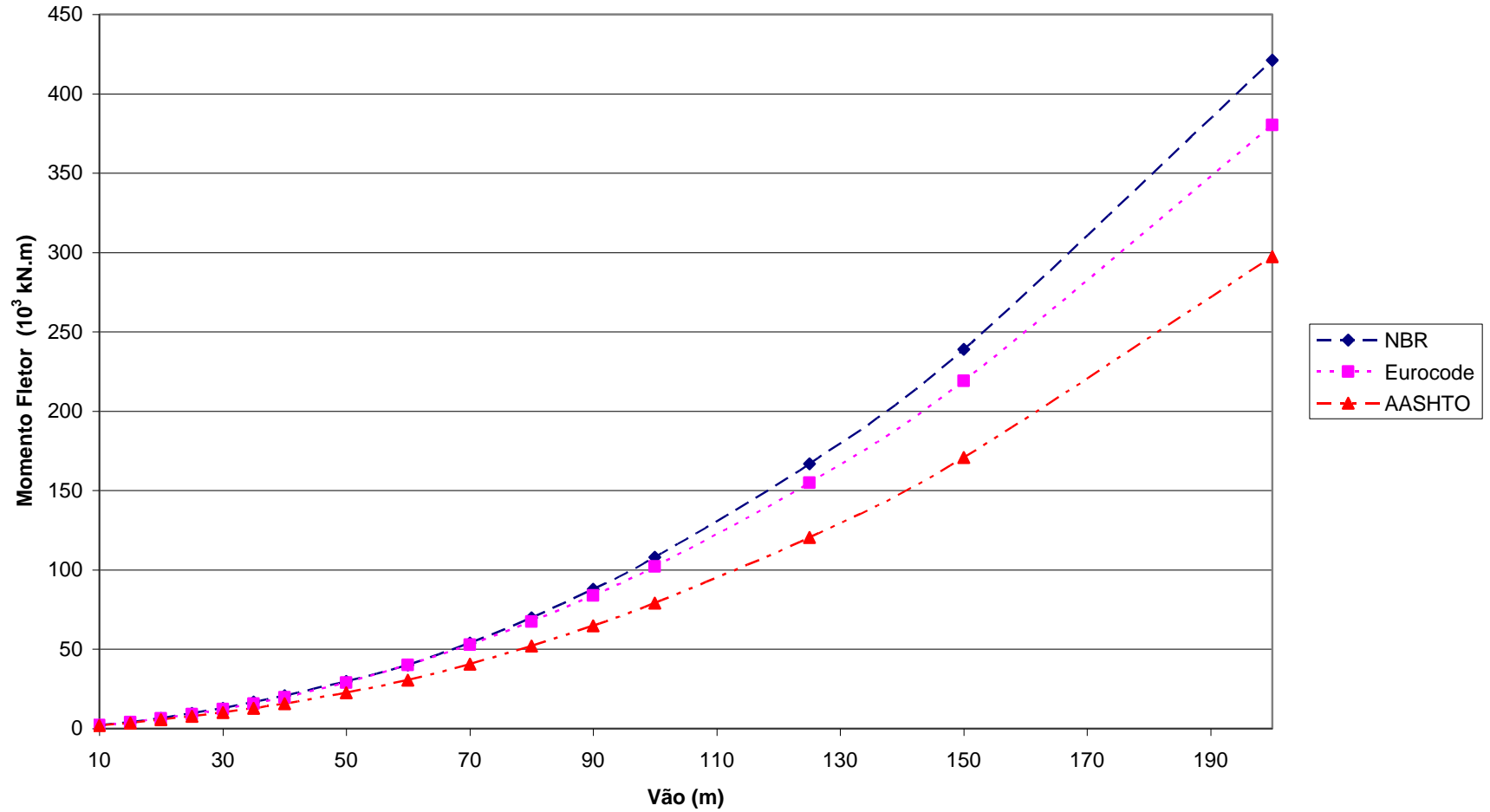
Força Cortante Máxima em Pontes Biapoiadas - Largura de 11,0 m



Momento Fletor Máximo Positivo em Pontes com Dois Vãos - Largura de 11,0 m



Momento Fletor Máximo Negativo em Pontes com Dois Vãos - Largura de 11,0 m

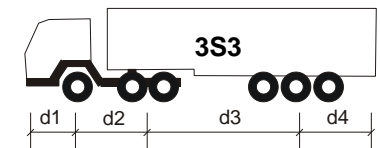
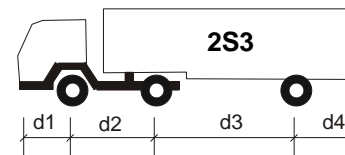
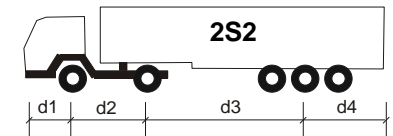
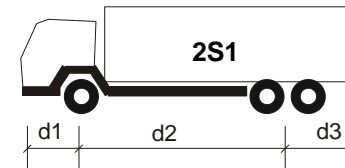
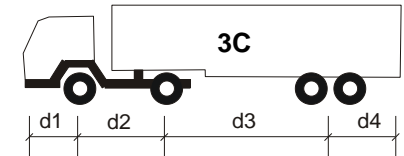
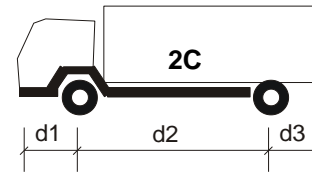


6.2 Comparação com as cargas reais.

Cargas reais levantadas na SP-310, em 1999.

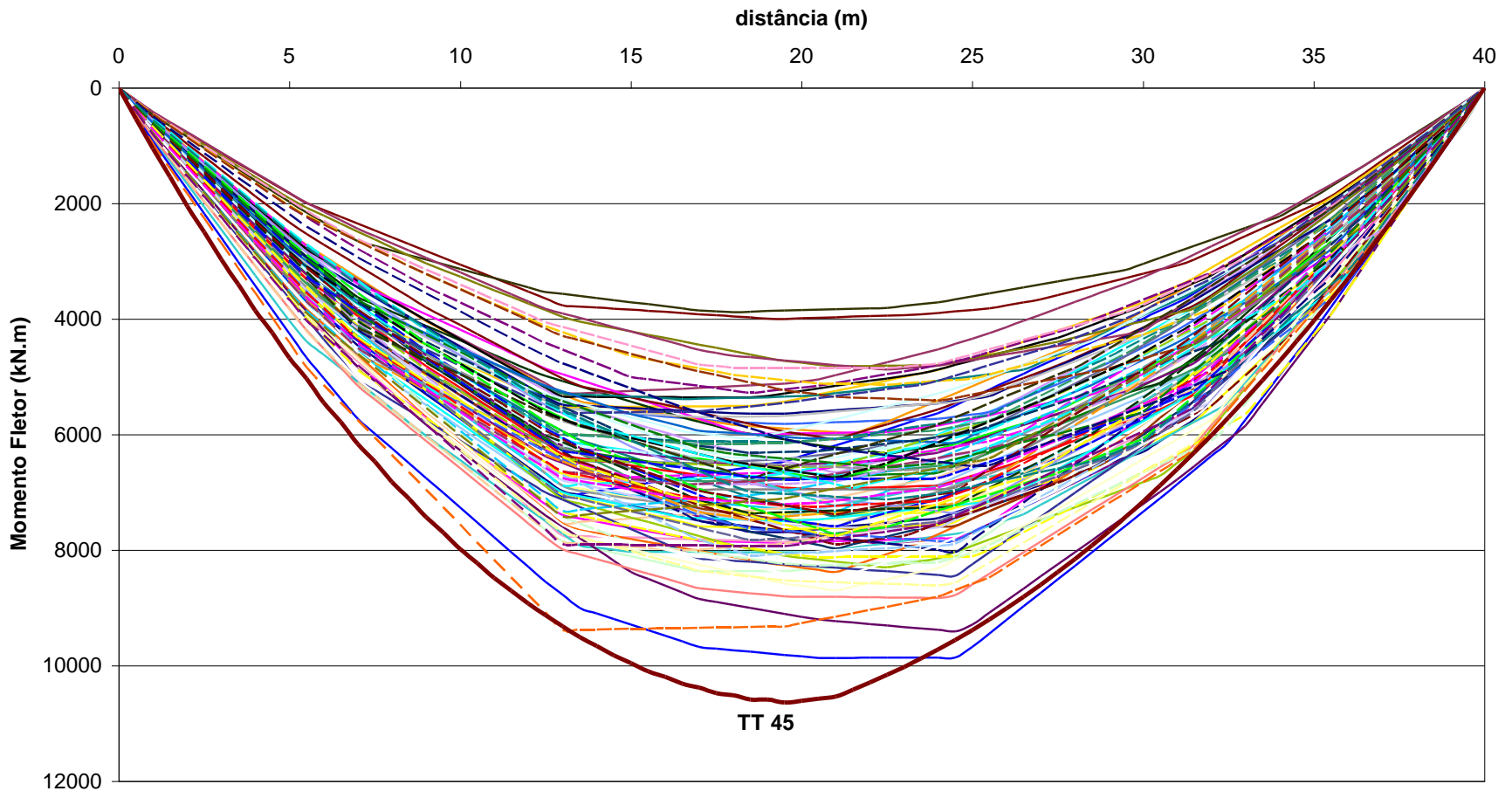
Somente **duas filas de caminhões, sem veículos leves ou multidão.**

CLASSE	DISTÂNCIAS CONSIDERADAS (m)				
	d1	d2	d3	d4	Comprimento total
2C	0,5	4,5	2,0	-	7,0
3C	1,0	6,0	3,5	-	10,5
2S1	1,0	4,5	7,5	4,5	17,5
2S2	1,0	4,5	7,0	3,5	16,0
2S3	1,0	4,5	7,5	4,5	17,5
3S3	1,0	5,0	5,0	2,5	13,5



Obra classe 45, com duas faixas de 3,6m e vão de 40m.

Obra classe 45, com duas faixas e vão de 40m.
Carga real de duas filas só de caminhões controlados, sem
veículos leves ou multidão.



7. Verificação do TT45 em face das cargas reais pelo Método de Monte Carlo

A idéia é calcular a distribuição probabilística de esforços críticos, como M_{max} no vão ou no apoio, bem como V_{max} no apoio, e verificar a cobertura que o TT45 ainda dá depois de quase 30 anos, isto é a que PMR corresponde.

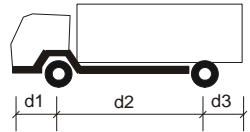
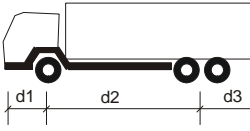
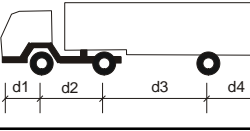
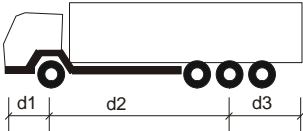
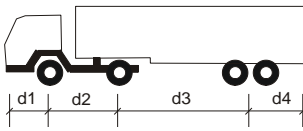
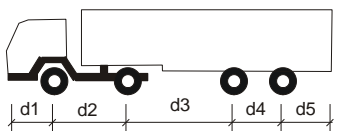
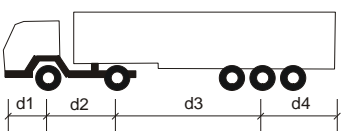
Admitiu-se que essa distribuição seja uma distribuição de máximos de Gumbel, que foi construída a partir dos dados levantados pela junto à Centro-Vias.

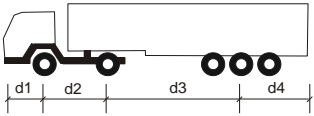
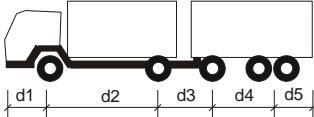
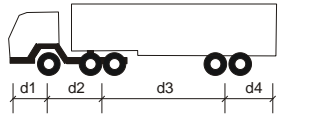
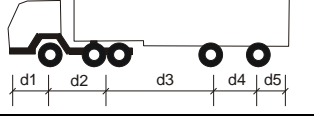
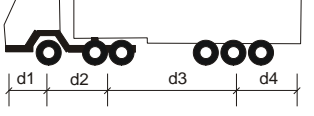
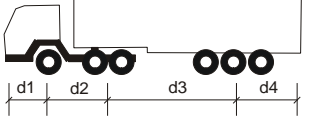
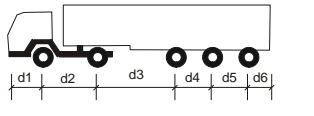
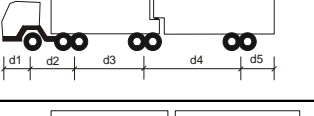
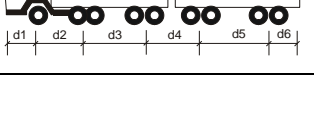
Esses dados compreendem: levantamento dos tipos de caminhões que circulam, das cargas totais e por eixo de cada tipo de caminhão.

Dados da quantidade total de veículos leves também foi levantada.

Assim são necessários: as distribuições probabilísticas de:

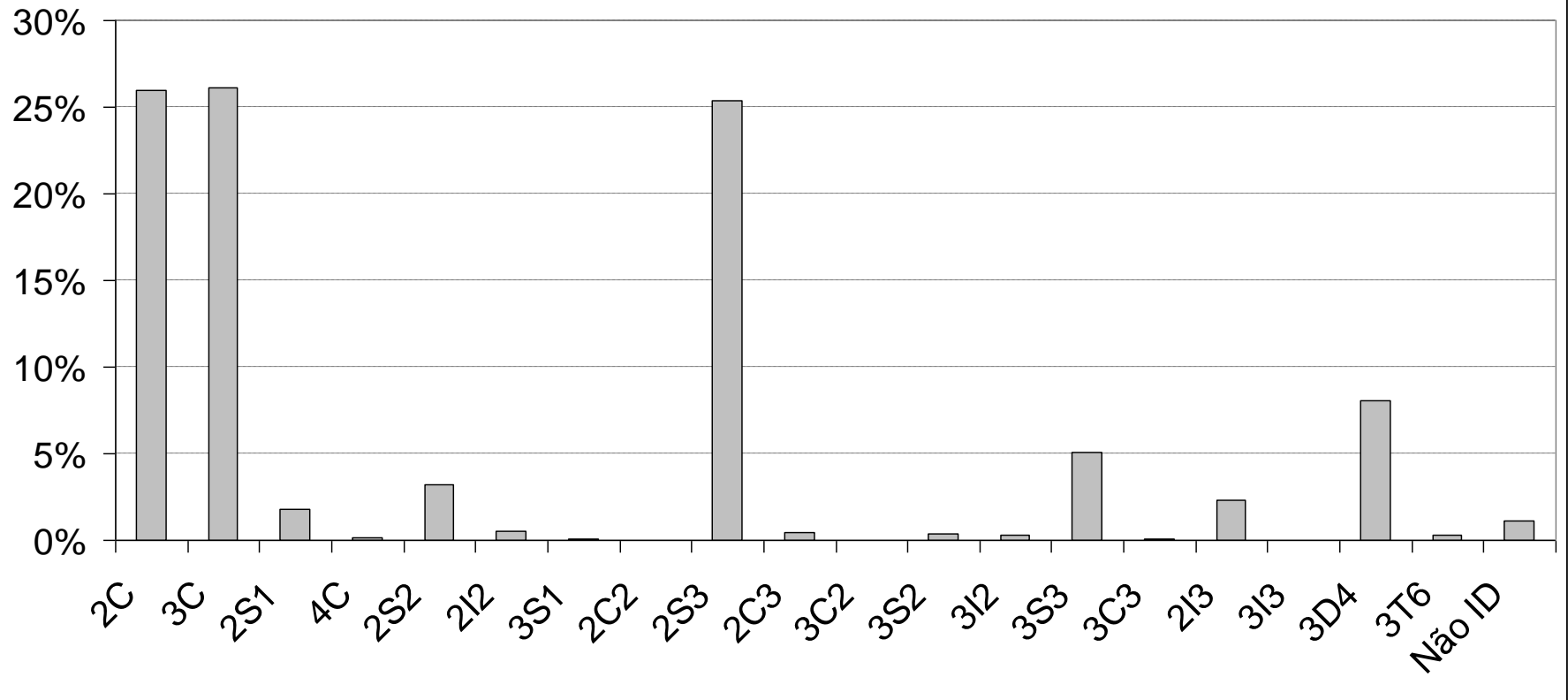
1. Geometria dos veículos
2. Distribuição probabilística de cada Tipo de veículo
3. Distribuição probabilística da carga total do veículo
4. Distribuição probabilística da carga por eixo do veículo
5. Situações de tráfego a considerar, em termos do peso de cada tipo de veículo por faixa e da distancia entre veículos

CLASSE	CONFIGURAÇÃO	DISTÂNCIAS ENTRE EIXOS (m)						
		d1	d2	d3	d4	d5	d6	compr.
2C		0,5	4,5	2,0	-	-	-	7,0
3C		1,0	6,0	3,5	-	-	-	10,5
2S1		1,0	4,5	7,5	4,5	-	-	17,5
4C		1,0	5,0	2,5	-	-	-	8,5
2S2		1,5	4,5	7,0	3,5	-	-	16,5
2I2		1,0	4,5	6,0	2,5	1,5	-	15,5
2S3C (curto)		1,5	4,5	4,0	2,5	-	-	12,5

2S3L (lungo)		1,5	4,5	6,5	4,0	-	-	16,5
2C3		1,5	6,0	4,0	4,5	1,5	-	17,5
3S2		1,5	5,0	7,0	2,0	-	-	15,5
3I2		1,5	5,0	7,0	2,5	1,0	-	17,0
3S3C (curto)		1,5	5,0	4,5	2,5	-	-	13,5
3S3L (lungo)		1,5	5,0	7,0	3,5	-	-	17,0
2I3		1,5	4,5	4,0	2,5	2,5	1,5	16,5
3D4		1,5	4,0	6,5	4,5	2,5	-	19,0
3T6		1,5	5,0	6,5	4,5	6,5	2,5	26,5

TIPO DE VEÍCULO	DISTRIBUIÇÃO	PARÂMETROS	
		Média diária	Coef.de Variação
2C	Normal	318,2	18%
3C	Normal	62,9	20%
2S1	Lognormal	22,3	75%
4C	Exponencial	2,52	-
2S2	Lognormal	39	64%
2I2	Exponencial	5,8	-
2S3	Normal	310,8	24%
2C3	Exponencial	5,4	-
3S2	Exponencial	3,5	-
3I2	Exponencial	3,5	-
3S3	Normal	62	30%
2I3	Exponencial	23,4	-
3D4	Normal	98,6	32%
3T6	Exponencial	4,0	-
Veículo Leve	Normal	2175	12%

Porcentual de cada tipo em relação ao total de caminhões



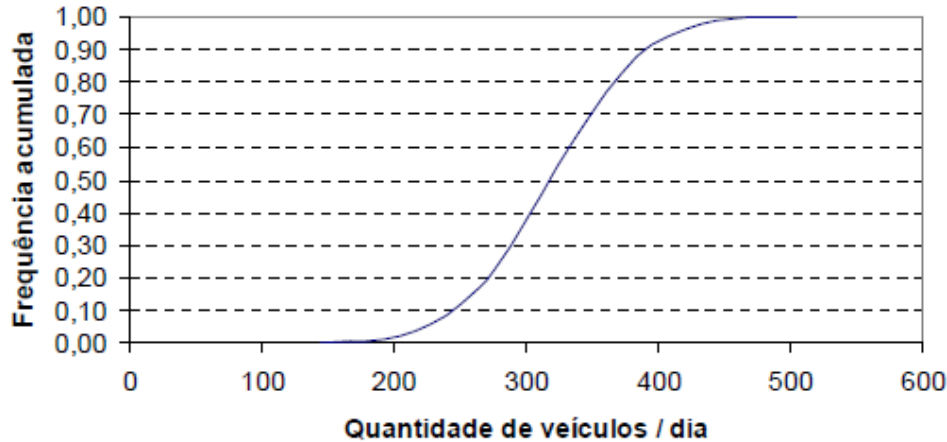
TIPO DE VEÍCULO	DISTRIBUIÇÃO	PARÂMETROS		
		Carga Média		Coefficiente de Variação
2C	Lognormal	74,7		66%
3C	Normal Bimodal	$\rho_1=0,4$	$\mu_1 = 220,4$	7%
		$\rho_2=0,6$	$\mu_2 = 137,3$	21%
2S1	Normal	158,5		22%
4C	Normal Bimodal	$\rho_1=0,92$	$\mu_1 = 311,4$	17%
		$\rho_2=0,08$	$\mu_2 = 120$	17%
2S2	Lognormal	213		63%
2I2	Normal Bimodal	$\rho_1=0,10$	$\mu_1 = 570,0$	5%
		$\rho_2=0,90$	$\mu_2 = 203,1$	12%
2S3	Normal Bimodal	$\rho_1=0,76$	$\mu_1 = 420$	5%
		$\rho_2=0,24$	$\mu_2 = 229$	39%
2C3	Normal Bimodal	$\rho_1=0,90$	$\mu_1 = 452,5$	3%
		$\rho_2=0,10$	$\mu_2 = 203,2$	29%

3S2	Normal Bimodal	$\rho_1=0,49$	$\mu_1 = 388$	8%
		$\rho_2=0,51$	$\mu_2 = 248,5$	16%
3I2	Normal Bimodal	$\rho_1=0,56$	$\mu_1 = 402,3$	11%
		$\rho_2=0,44$	$\mu_2 = 216$	18%
3S3	Normal Bimodal	$\rho_1=0,78$	$\mu_1 = 461,8$	2%
		$\rho_2=0,22$	$\mu_2 = 393,6$	15%
2I3	Normal Bimodal	$\rho_1=0,96$	$\mu_1 = 458,1$	2%
		$\rho_2=0,04$	$\mu_2 = 317,3$	37%
3D4	Normal	578,7		4%
3T6	Normal Bimodal	$\rho_1=0,95$	$\mu_1 = 752,4$	3%
		$\rho_2=0,05$	$\mu_2 = 400$	18%

TIPO DE VEÍCULO	Eixo 1	Eixo 2	Eixo 3	Eixo 4	Eixo 5
2C	42%	58%	-	-	-
3C	27%	73%	-	-	-
2S1	27%	33%	39%	-	-
4C	34%	66%	-	-	-
2S2	23%	32%	45%	-	-
2I2	20%	34%	24%	22%	-
2S3	15%	26%	59%	-	-
2C3	13%	24%	21%	42%	-
3S2	18%	40%	42%	-	-
3I2	18%	42%	20%	20%	-
3S3	12%	34%	54%	-	-
2I3	12%	23%	21%	22%	22%
3D4	11%	31%	30%	28%	-
3T6	8%	23%	24%	22%	23%

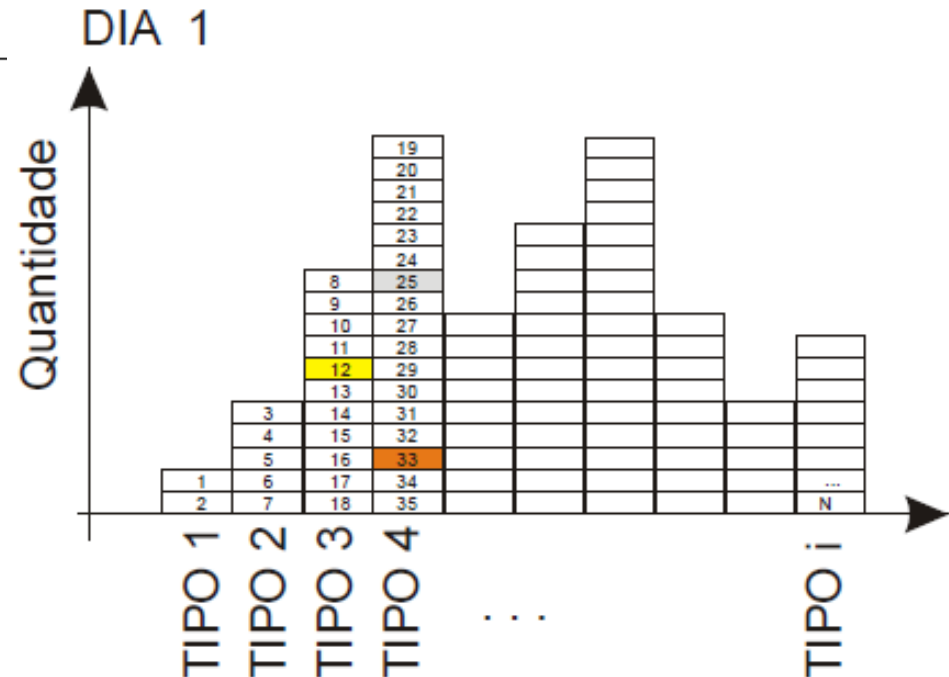
7.1 Geração Randômica das filas

Veículo 2C
Função de Probabilidade Acumulada

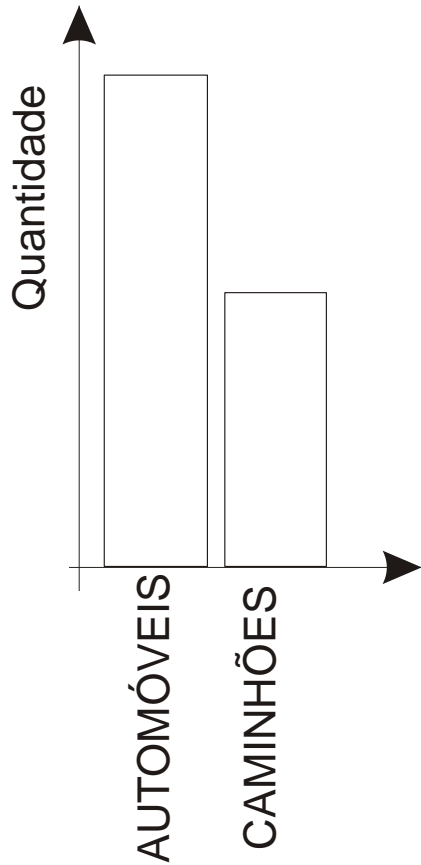


Por Monte Carlo se gera o número de veículos de cada tipo que passam na ponte – gerador randômico gera n que define q

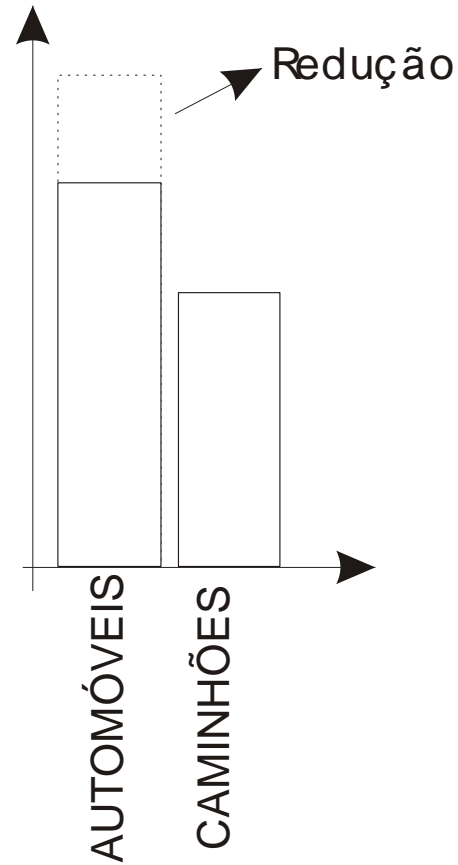
Novamente por Monte Carlo se gera a ordem dos veículos de cada faixa. Ao final se tem 1 cenário de congestionamento do dia.



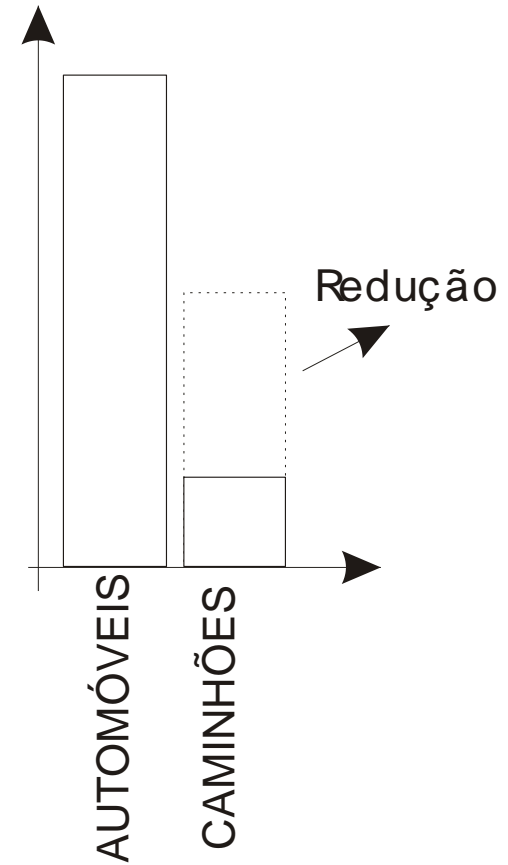
Tráfego
sem modificação



Faixa da direita



Faixa da esquerda

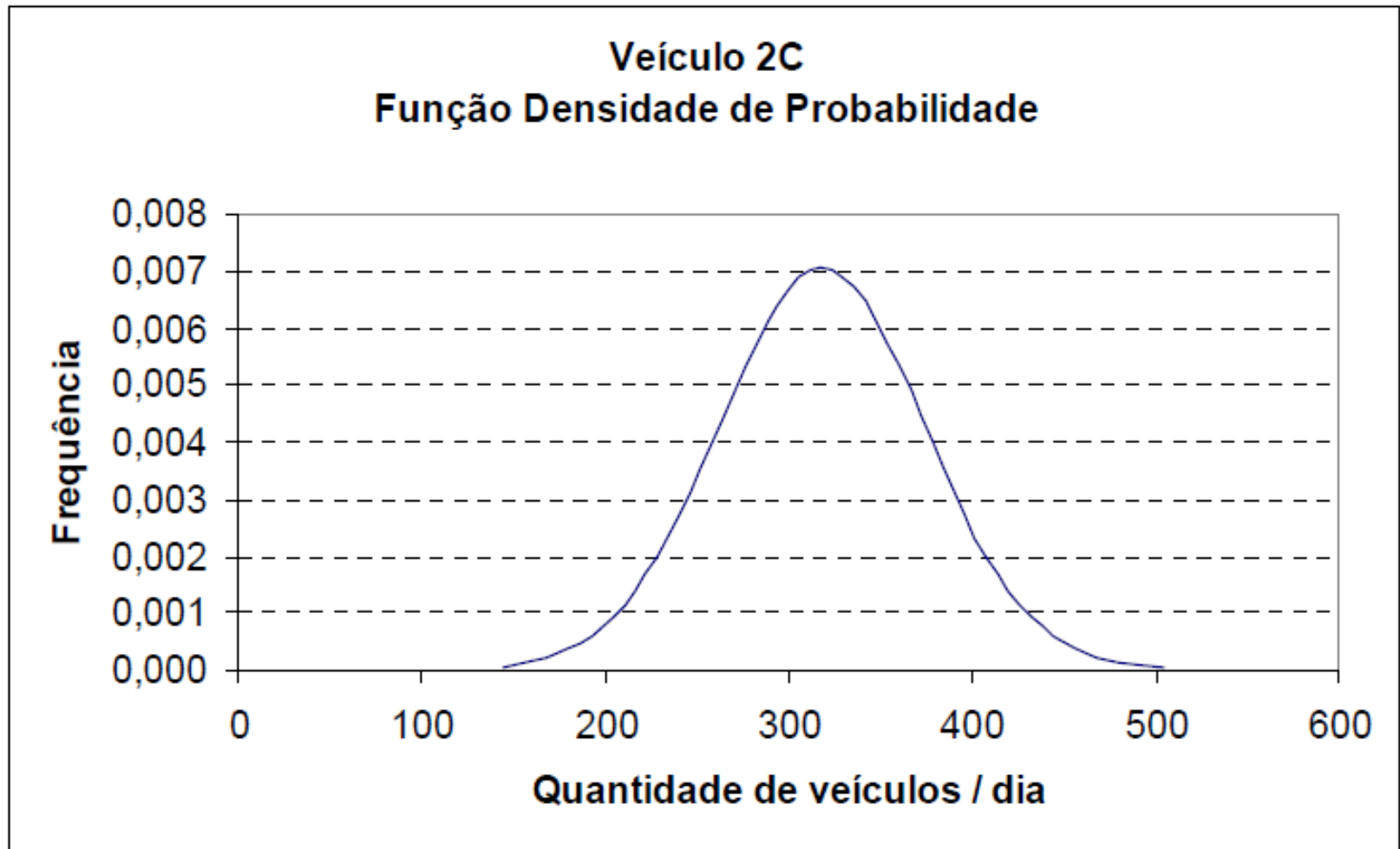


- Alteração do tráfego em faixas lentas ou expressas

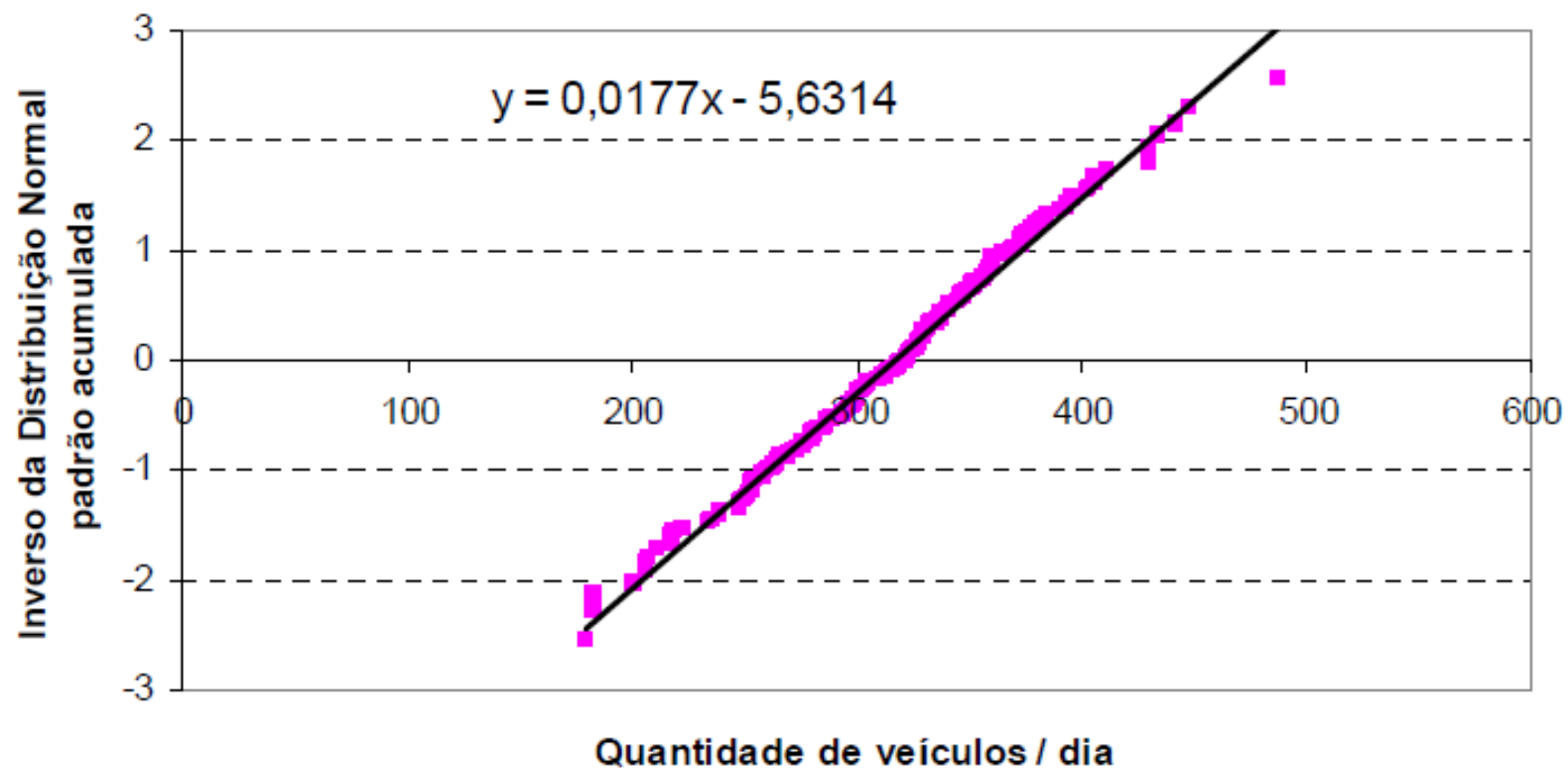
Cenários para PS, PD, PT, PQ

Tráfego	Faixa 1		Faixa 2		Faixa 3		Faixa 4	
	autos	caminh	autos	caminh	autos	caminh	autos	caminh
PS	100%	100%	100%	100%	-	-	-	-
PD A	80%	100%	100%	50%	-	-	-	-
PD B	80%	100%	100%	20%	-	-	-	-
PT	80%	100%	100%	20%	100%	5%	-	-
PQ	80%	100%	100%	20%	100%	10%	100%	5%

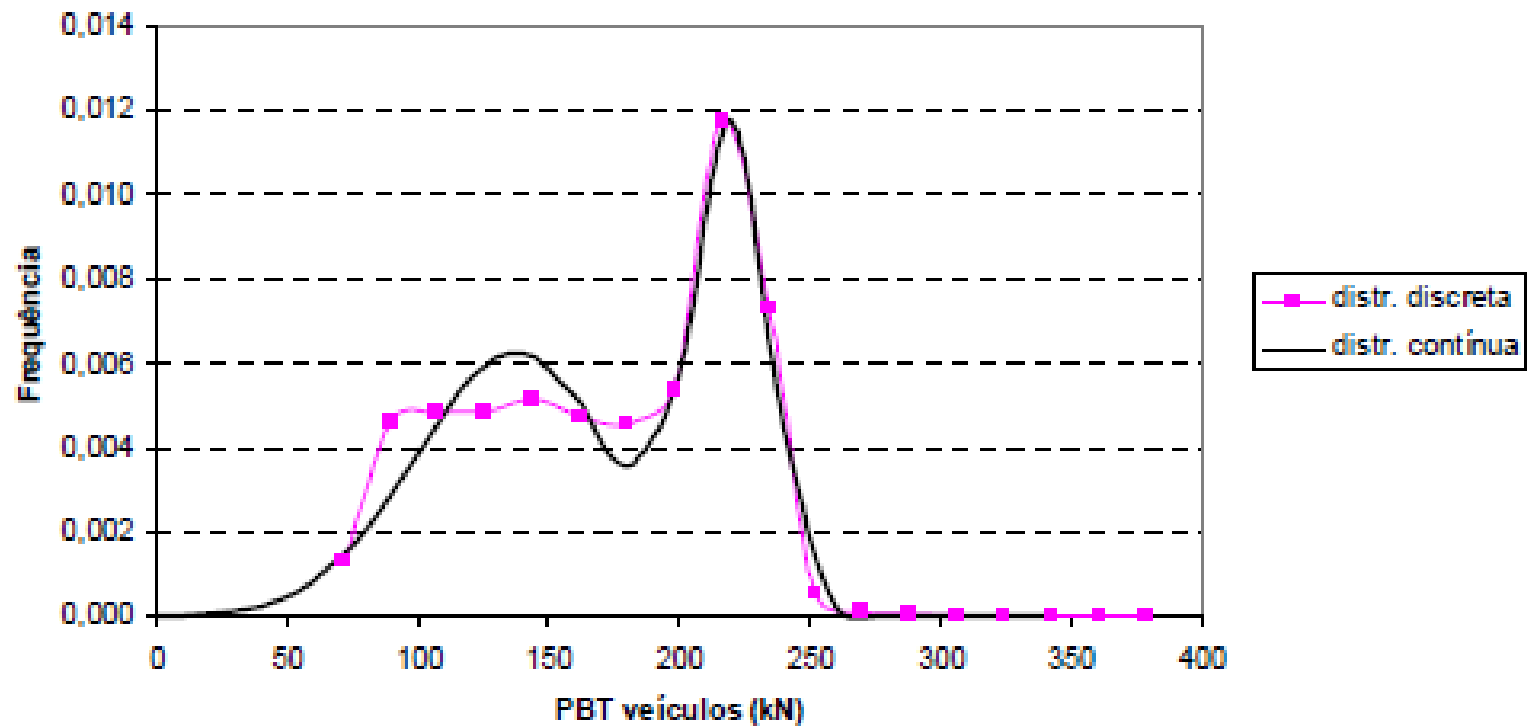
7.2 Geração randômica da carga de cada veículo



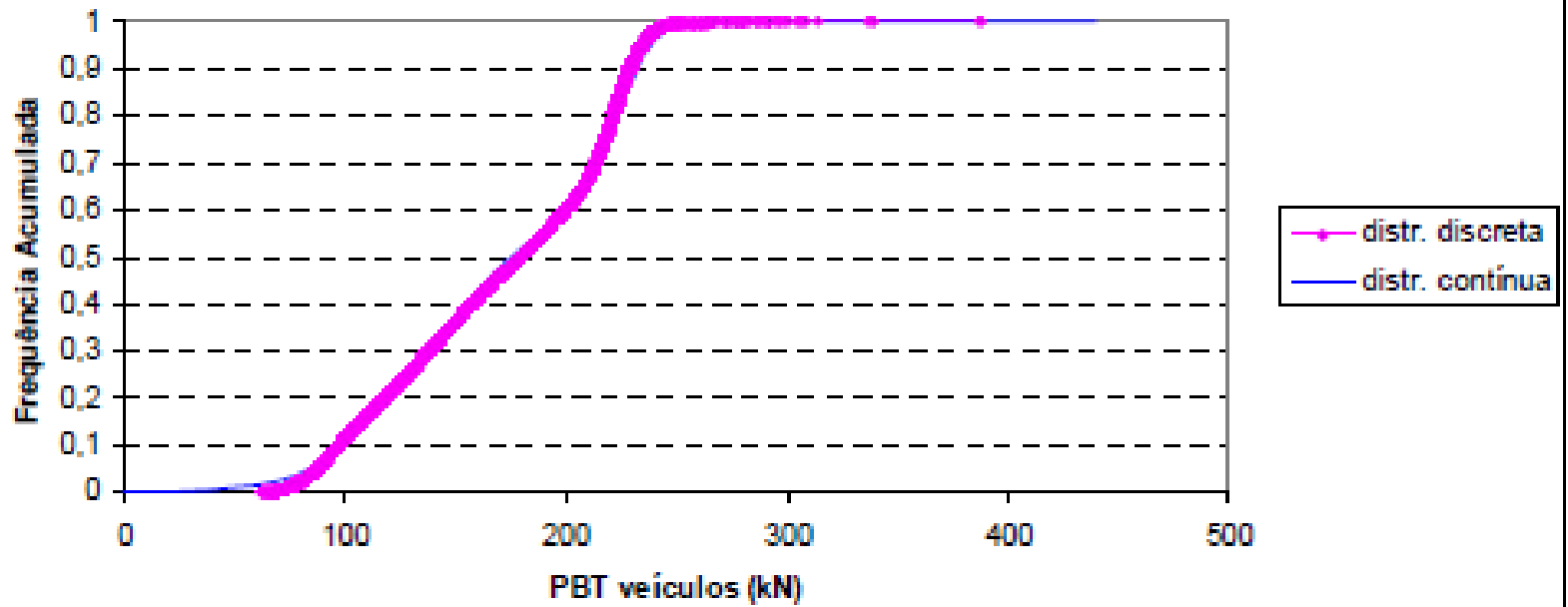
Papel de Probabilidade - Normal Veículo 2C



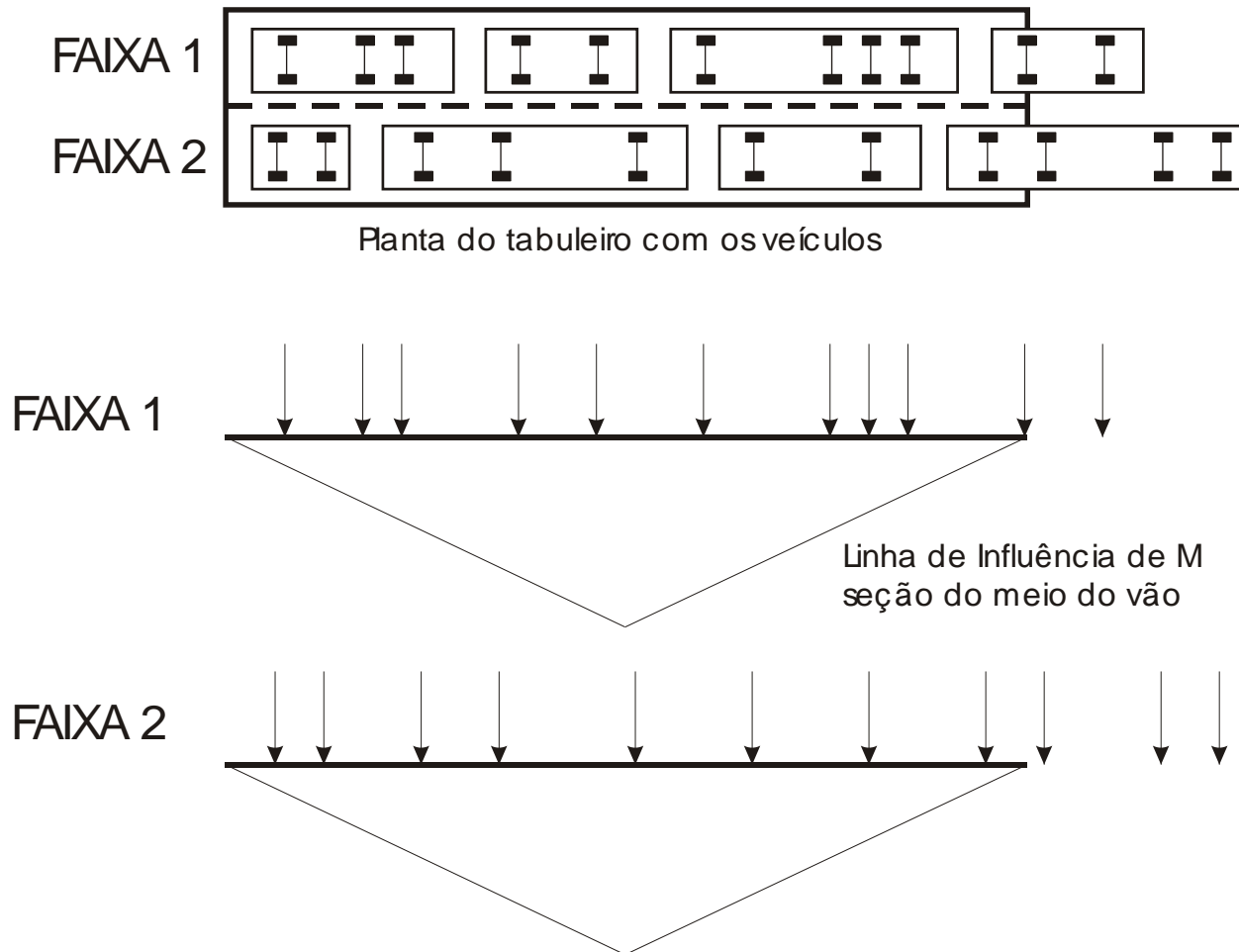
Função Densidade de Probabilidade Veículo 3C



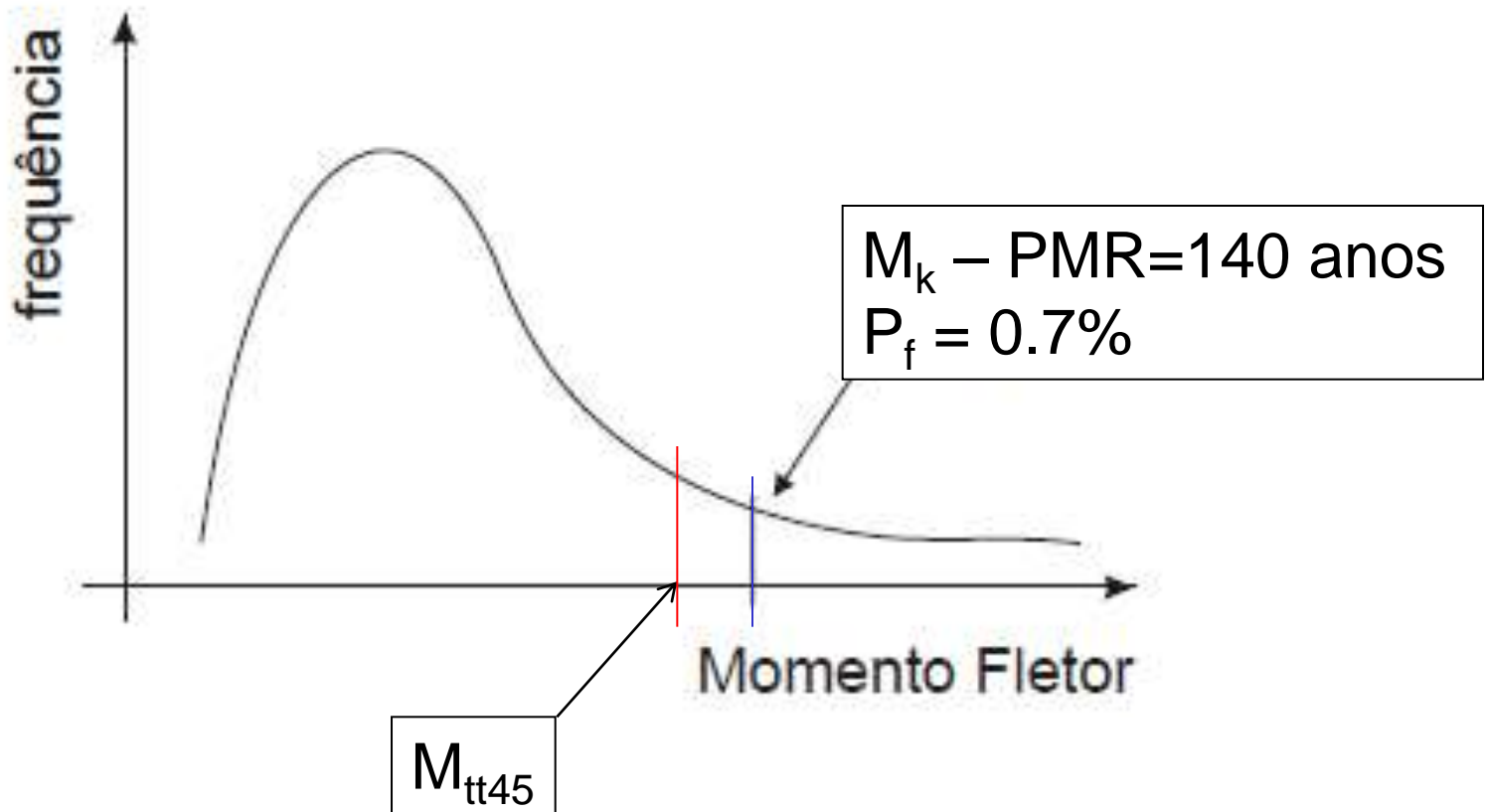
Distribuição Acumulada Veículo 3C



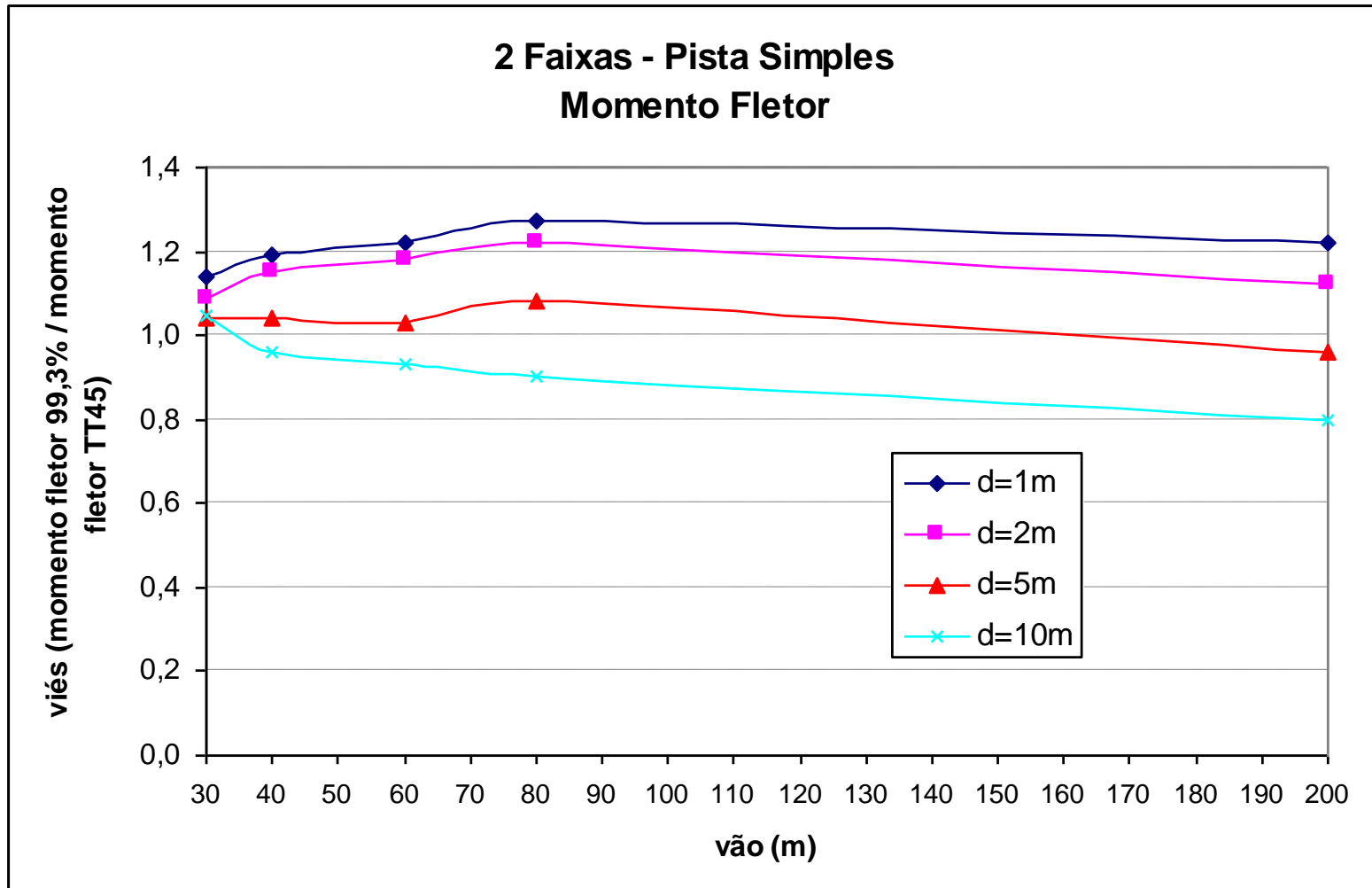
7.3 Distribuição probabilística do momento no meio do vão



7.4 Distribuição de Máximos anuais e o Momento característico

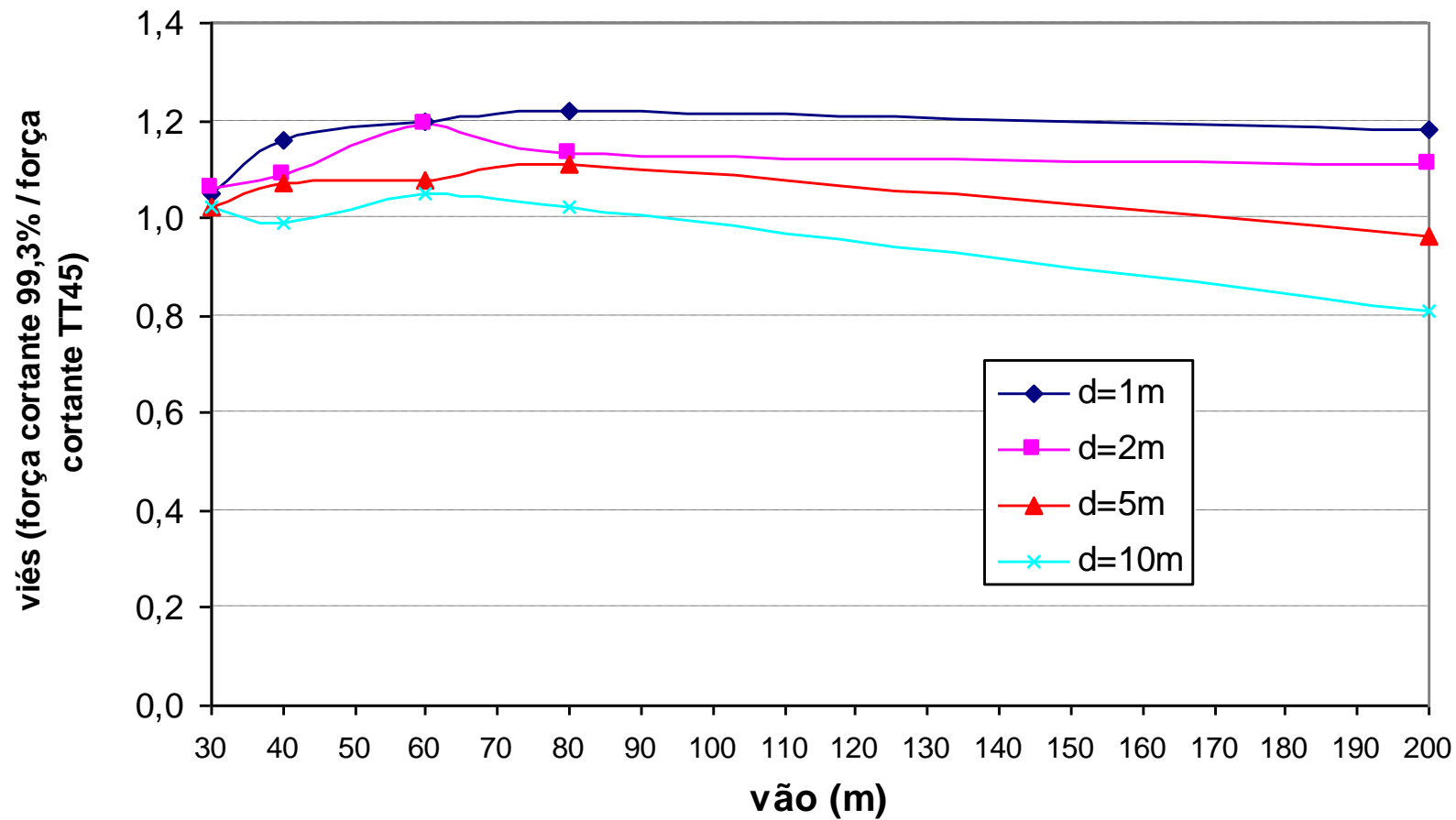


7.5 Comparações entre o TT45 e as cargas reais sem impacto

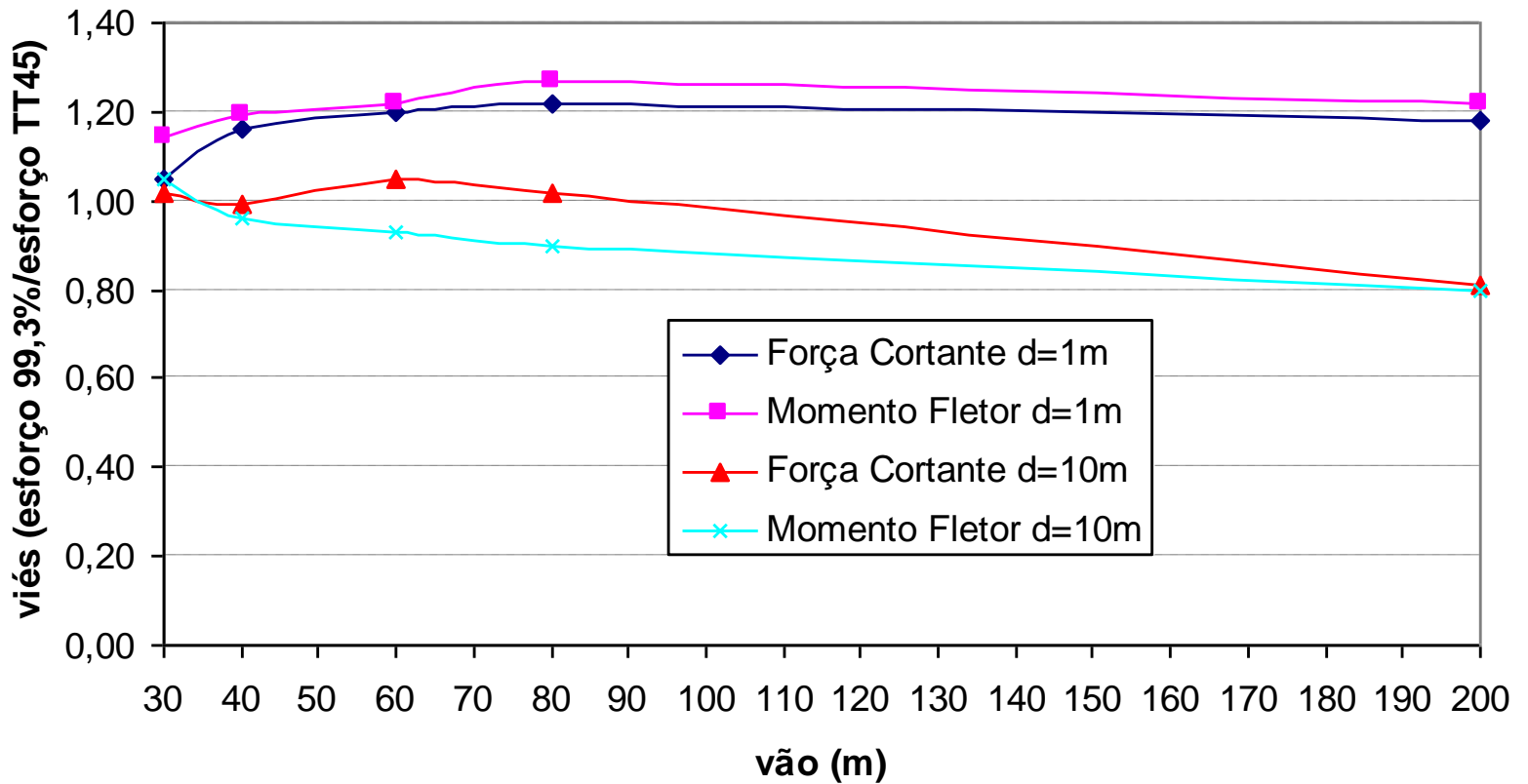


2 Faixas - Pista Simples

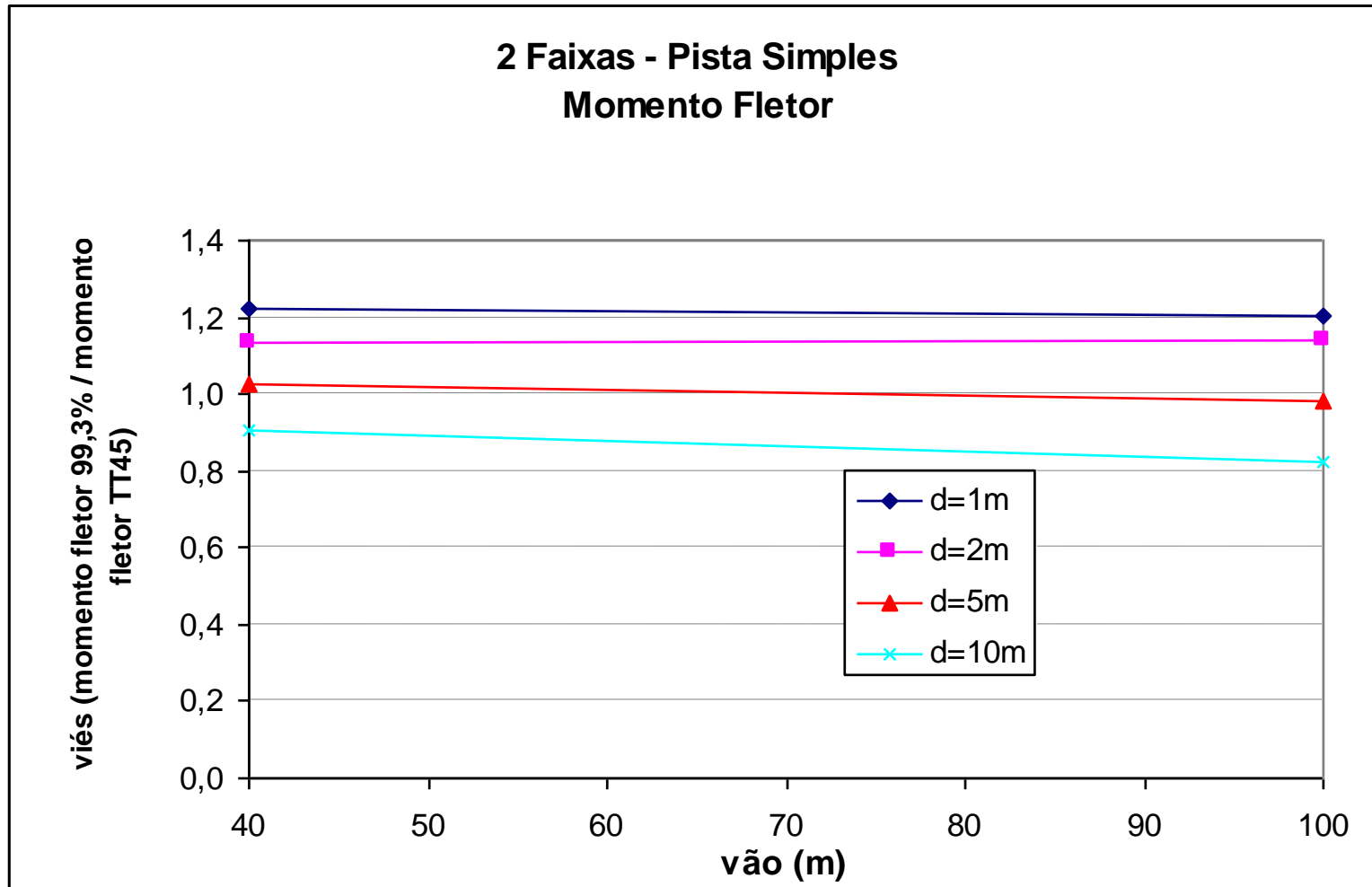
Força Cortante



2 Faixas - Pista Simples

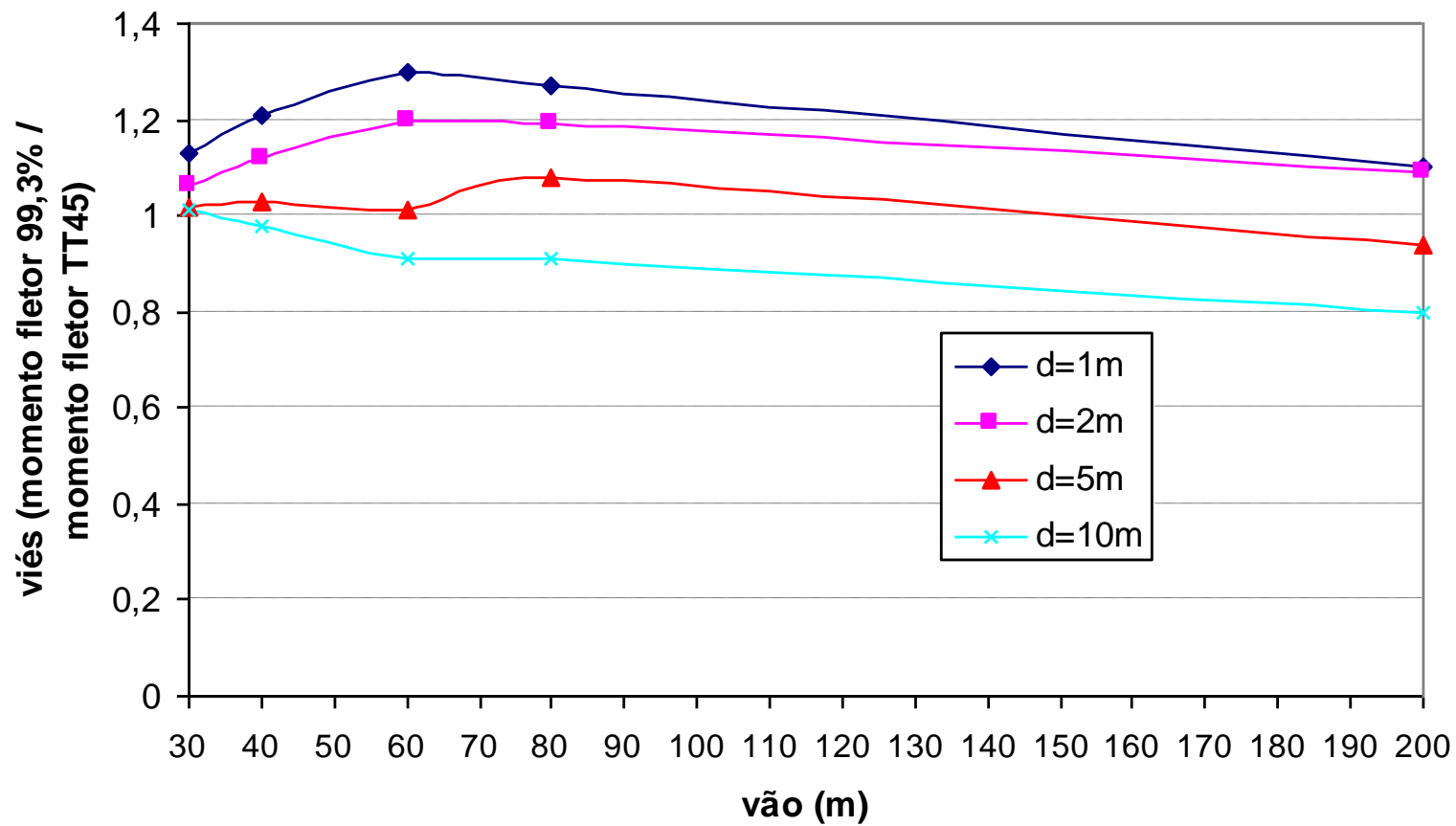


Variação do viés de momento fletor no apoio central para o caso PS ponte contínua com dois vãos iguais

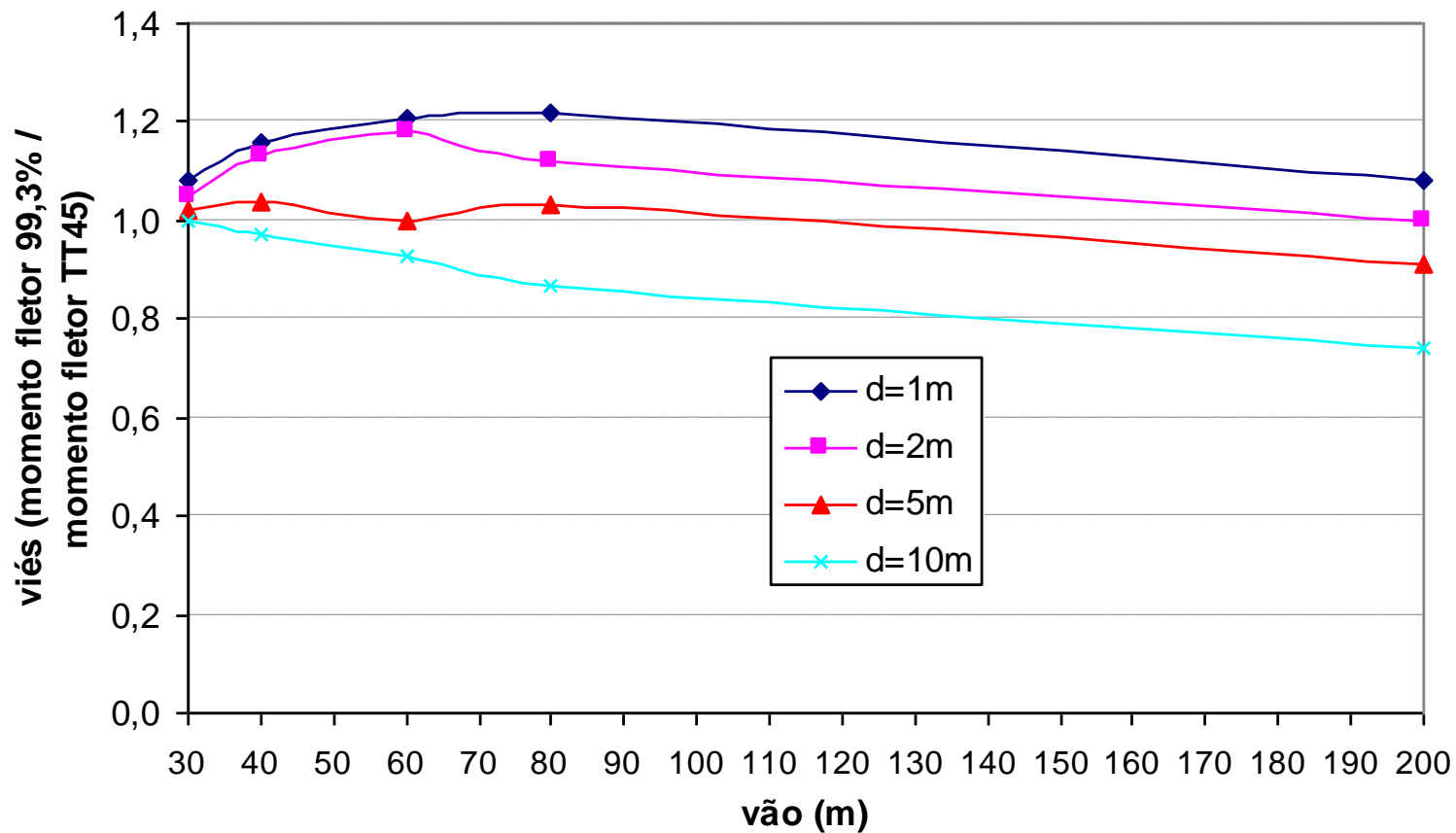


2 Faixas - Tráfego tipo A

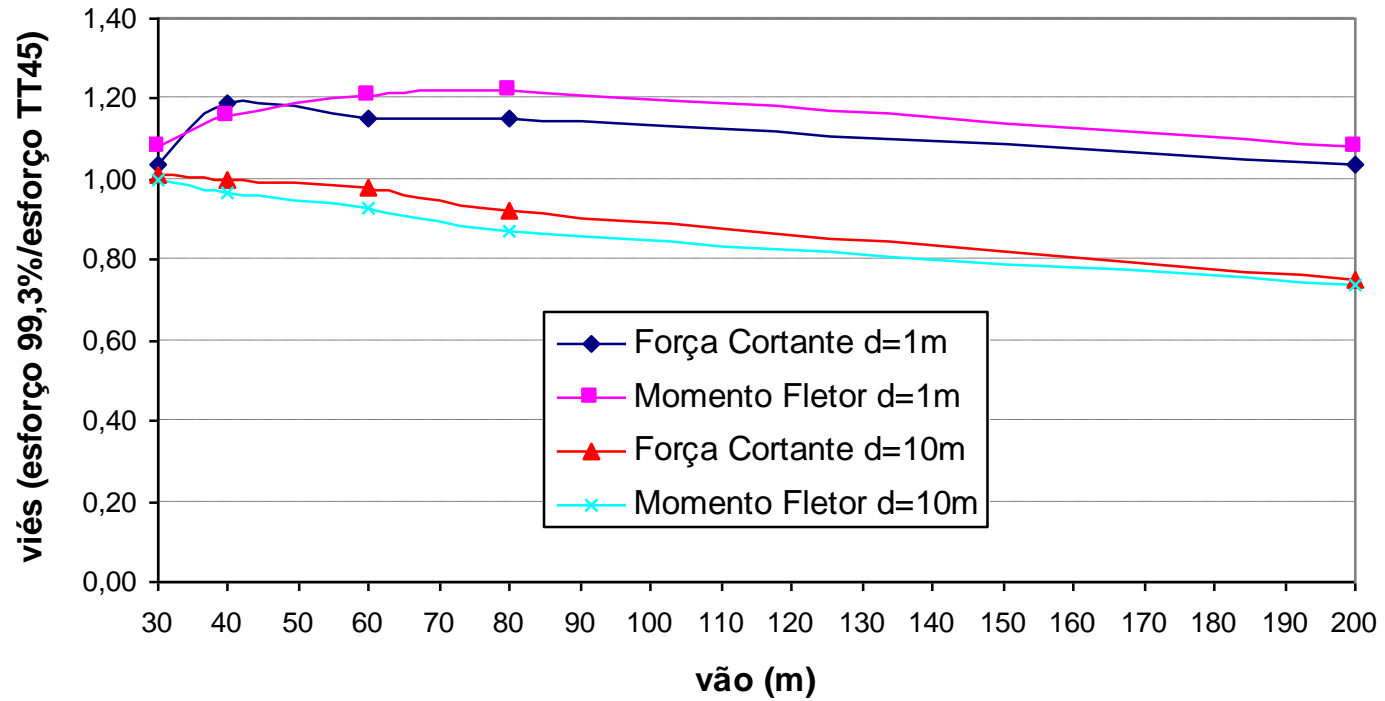
Momento Fletor



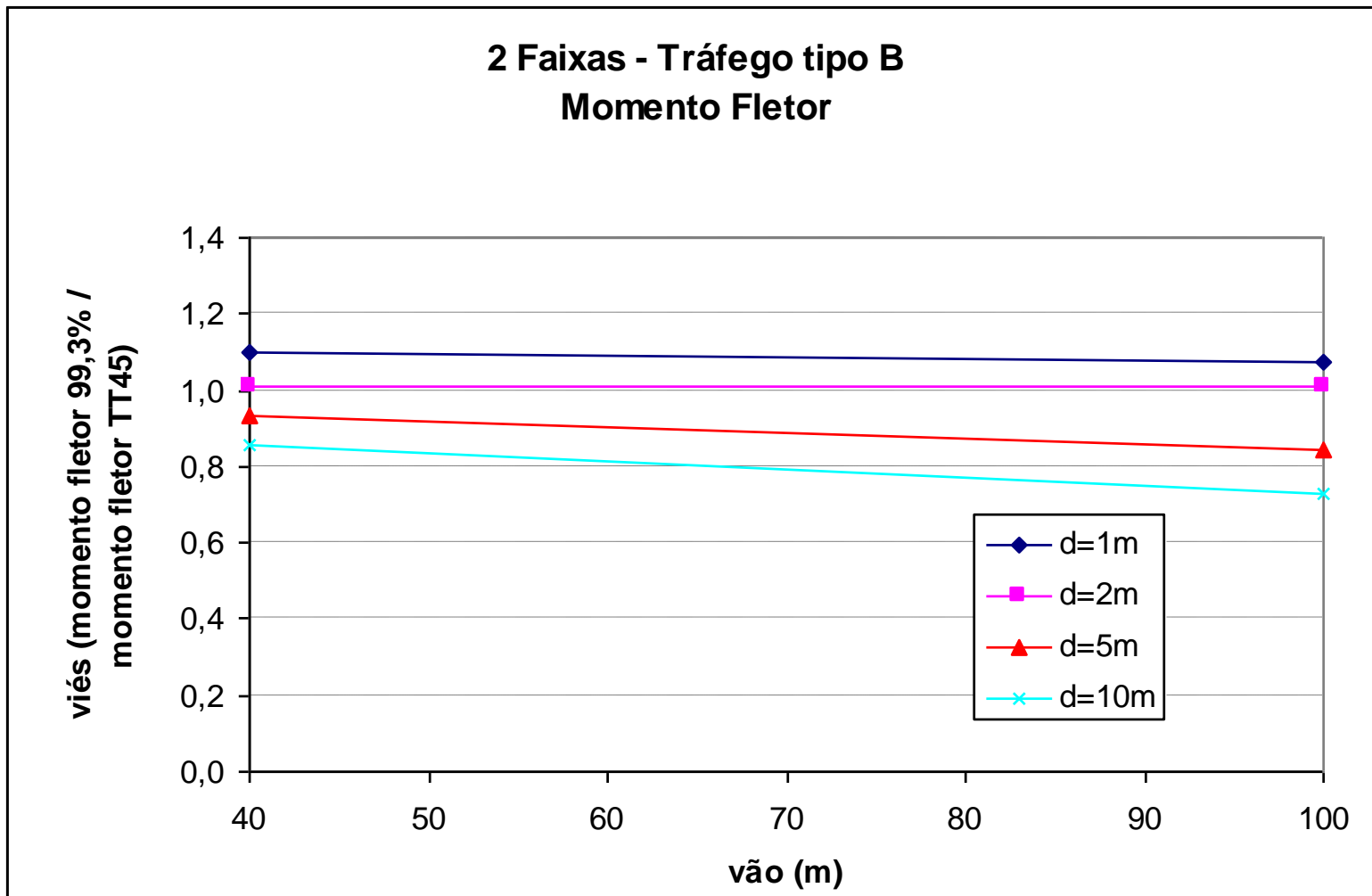
2 Faixas - Tráfego tipo B Momento Fletor



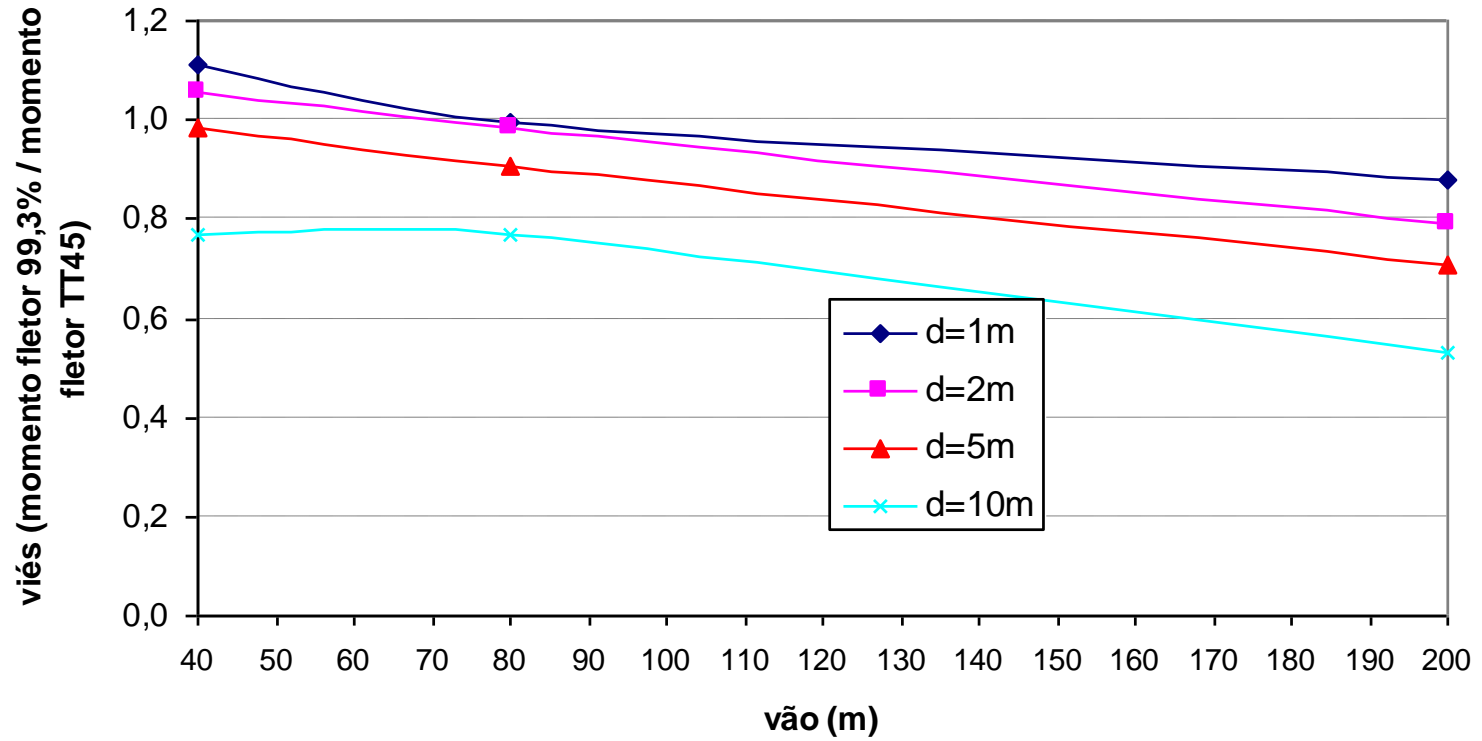
2 Faixas - PD-B



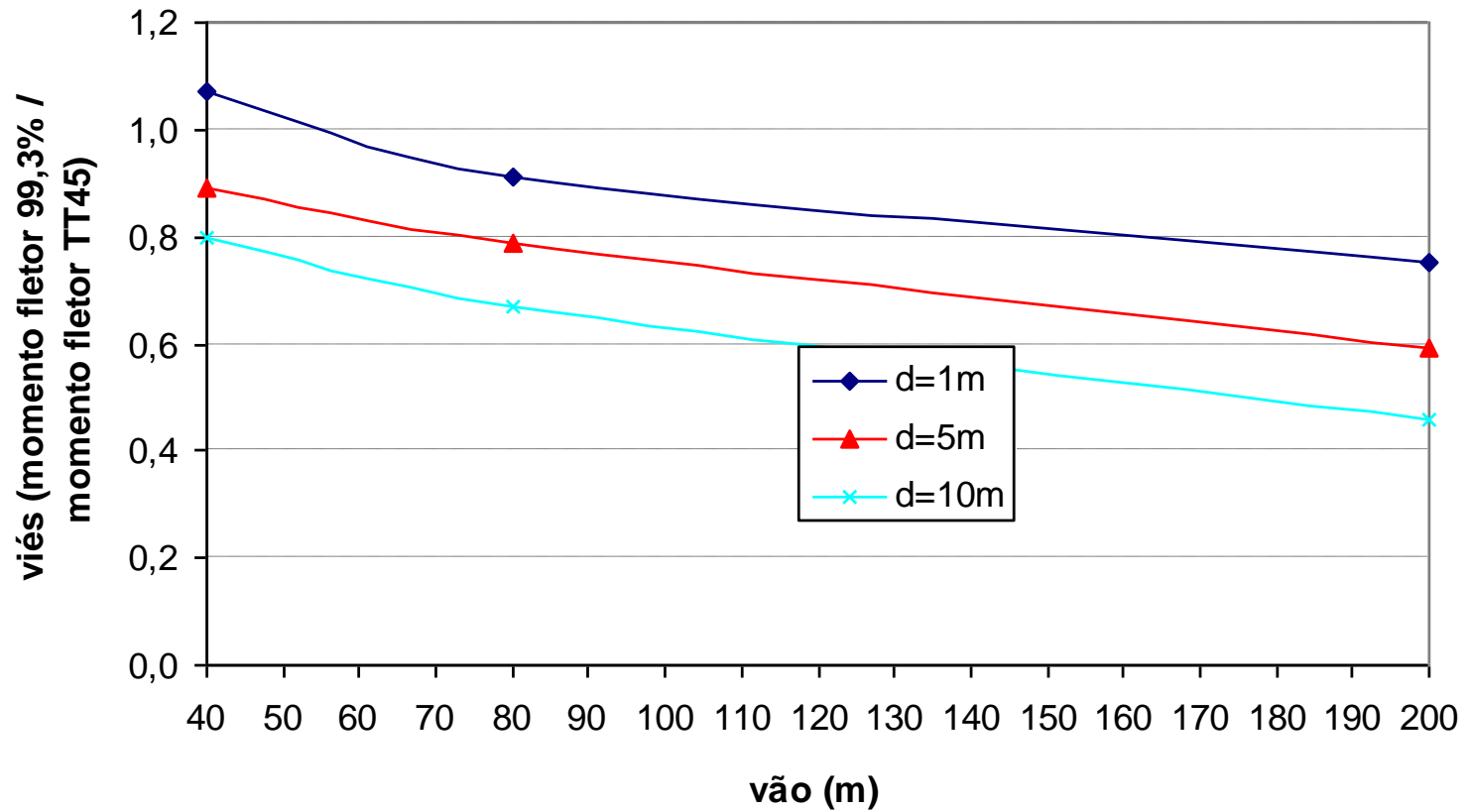
Variação do viés de momento fletor no apoio central para o caso PD-A ponte contínua com dois vãos iguais



3 Faixas Momento Fletor



4 Faixas Momento Fletor



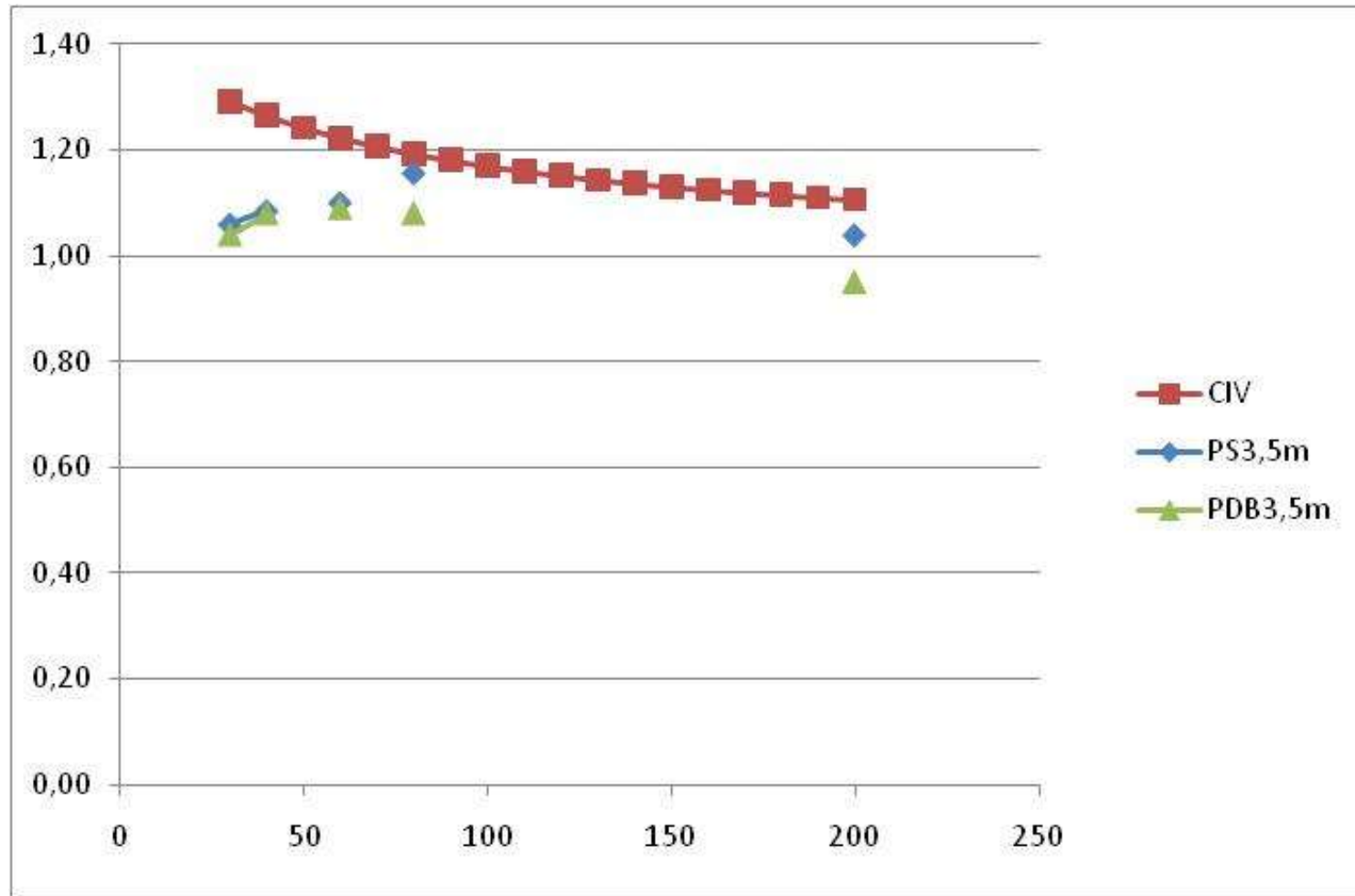
8. Proposta de revisão da NBR7188 – Cargas em Pontes Rodoviárias e Passarelas.

1. Mantém-se o mesmo TT45
2. Modifica-se apenas o Coeficiente de Impacto
3. $CIV=1+1,06(20/(Liv +50))$
Liv=L*0,75 para estruturas de vão biapoiado.
Liv=L*0,5 para estruturas de vão biapoiado com um ou dois balanço.
Liv=media aritmética dos vãos nos casos de vãos contínuos.
Liv=comprimento do próprio balanço para estruturas em balanço
4. $CNF=1-0,05(n-2) >0,9$
n = número inteiro de faixas
Não se aplica ao cálculo de esforços transversais

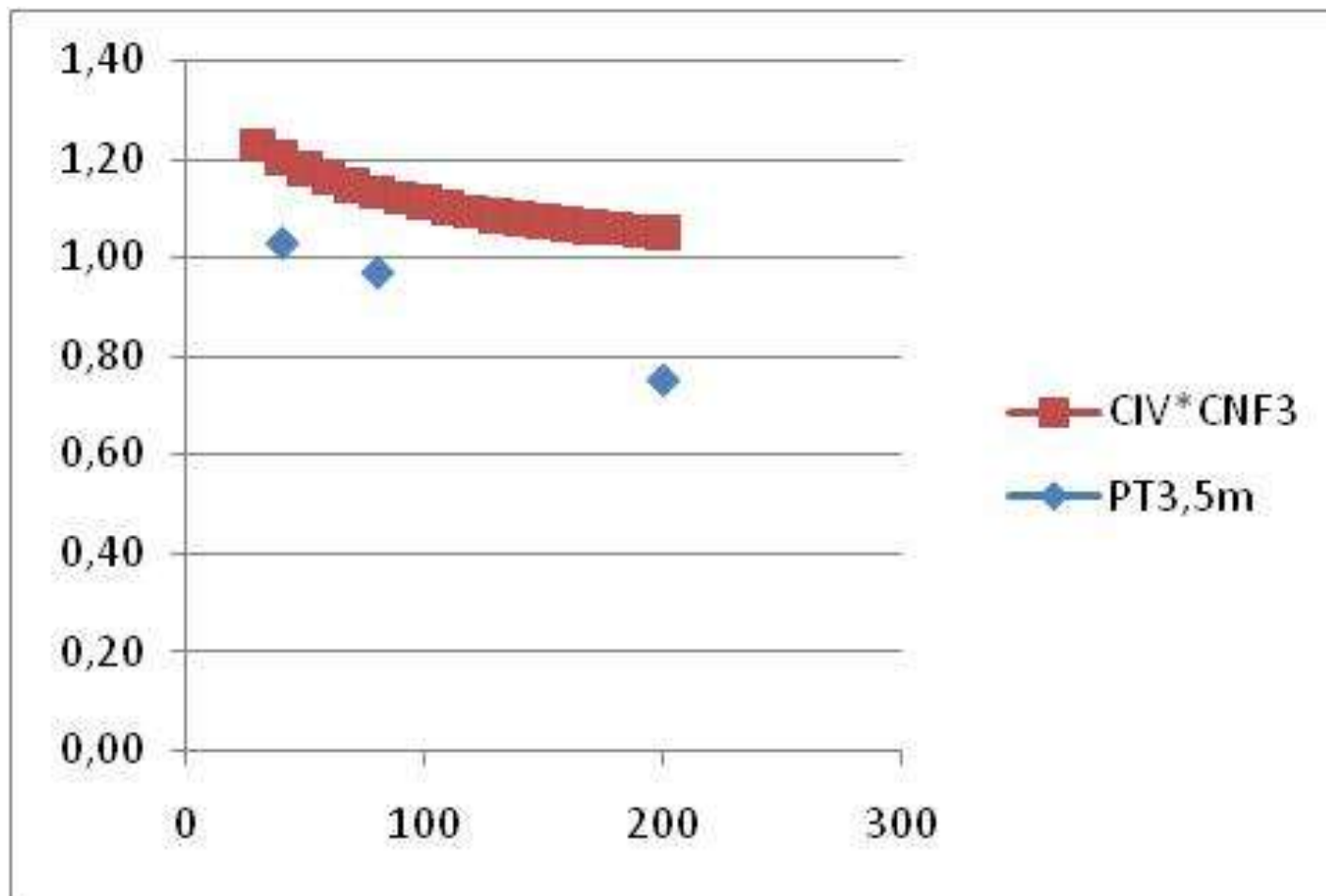
8.1 Tabela de valores de CIV*CNF e do Coef. Atual

Liv	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200
Fi Atual	1,19	1,12	1,05	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
n<=2	1,27	1,24	1,21	1,19	1,18	1,16	1,15	1,14	1,13	1,12	1,12	1,11	1,11	1,10	1,10	1,09	1,09	1,08
n=3	1,20	1,17	1,15	1,13	1,12	1,10	1,09	1,08	1,08	1,07	1,06	1,06	1,05	1,05	1,04	1,04	1,03	1,03
n>=4	1,14	1,11	1,09	1,07	1,06	1,05	1,04	1,03	1,02	1,01	1,01	1,00	1,00	0,99	0,99	0,98	0,98	0,98

8.2 Comparação pesquisa proposta NBR7188 – 2 faixas



8.3 Comparação pesquisa proposta NBR7188 – 3 faixas



8.4 Comparação pesquisa proposta NBR7188 – 4 faixas

