Campus de São Carlos

**VIABILIDADE DE OPERAÇÃO DO DUPLO
SEMI-REBOQUE DE CINCO EIXOS NO BRASIL**

NEUTO GONÇALVES DOS REIS

Orientador:
PROF. DR. JOÃO ALEXANDRE WIDMER

VOLUME 1

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

**ESCOLA DE ENGENHARIA
DE SÃO CARLOS**

NEUTO GONÇALVES DOS REIS

**VIABILIDADE DE OPERAÇÃO DO DUPLO
SEMI-REBOQUE DE CINCO EIXOS NO BRASIL**

VOLUME 1

DEDALUS - Acervo - EESC

31100036219

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Transportes

ORIENTADOR: Prof. Dr. João Alexandre Widmer
Departamento de Transportes - EESC-USP

São Carlos, 1996 7/22/04

Class.	IESE-EESE
Cutt.	4822, V 1
Tombo	153196

Transportes

st 0745336

NEUTO GONÇALVES DOS REIS

**Engenheiro Civil, Escola de Engenharia
da Universidade Federal de Minas Gerais, 1966.**

Pós-graduado em Engenharia Econômica, IPUC-MG, 1967.

Pós-graduado em Administração de Empresas, FGV-SP, 1972.

Extensão em Distribuição de Produtos, FGV-SP, 1981.

**VIABILIDADE DE OPERAÇÃO DO DUPLO
SEMI-REBOQUE DE CINCO EIXOS NO BRASIL**

VOLUME 1

**Dissertação apresentada à Escola de
Engenharia de São Carlos da Universidade de
São Paulo, como parte dos requisitos para
obtenção do título de Mestre em Transportes**

**ORIENTADOR: Prof. Dr. João Alexandre Widmer
Departamento de Transportes - EESC-USP**

São Carlos, 1996

***“Mestre não é quem
sempre ensina, mas quem
de repente aprende.”***

*(Do jagunço Riobaldo,
protagonista-narrador de
“Grande Sertão: Veredas”,
obra imortal de
Guimarães Rosa)*

Dedico esta dissertação
a Dulce, Renata e Rodrigo e
à memória de meu pai.

AGRADECIMENTOS

Durante a preparação deste trabalho, contei com a colaboração e a boa vontade de quase duas centenas de pessoas, empresas e entidades. Mesmo correndo o risco de omitir contribuições importantes, registro minha gratidão:

- ao Prof. Dr. João Alexandre Widmer, pela sugestão do tema, pela sua orientação segura e pelo seu rigor científico;
- ao Prof. Dr. Antônio Clóvis Pinto Ferraz, pelo convite para me tornar aluno do curso de pós-graduação em Transportes da EESC-USP, pelo incentivo e pela sua valiosa amizade;
- ao Prof. Dr. José Leomar Fernandes Júnior, pela colaboração na pesquisa bibliográfica e pela sua permanente atenção;
- à Dra. Maria Raquel de Araújo Russo, pelo auxílio nos cálculos do arraste das diferentes configurações de veículos combinados longos;
- ao Mestre Eloy Ferraz Machado Neto, pela cessão de cálculos de velocidade finais de veículos em rampas;
- à engenheira e colega de Mestrado, Cynthia Perpétua Lotti, pelas valiosas aulas sobre *d-Base 3 plus*;
- ao Barbieri, José Ricardo e Paulo, colegas de quem estive sempre mais próximo, por terem me aceito como agregado à “turma de Bauru”;
- aos demais professores e colegas de curso do Departamento de Transportes da EESC-USP e do Departamento de Transportes da Escola Politécnica da USP de São Paulo, pela enriquecedora e agradável convivência;
- aos funcionários do Departamento de Transportes da EESC-USP, em especial à Heloísa, pela colaboração e apoio administrativo;
- ao Ivo Luiz Boschetti, gerente Geral da Krone, e ao Rubem Penteado de Melo, gerente de Produto da mesma empresa; a Arselino Luiz Dellazari, supervisor de Marketing da Rodoviária; ao engenheiro Luís Kenji Mori, supervisor de Projetos, e ao vendedor Walter Xavier da Cunha, da Tectran; à Cláudia Brandão, assessora de Marketing da Facchini, e à Diretoria da mesma empresa; ao engenheiro Mário Takeshi, chefe de Engenharia da Antonini; pelas informações sobre os implementos nacionais;
- ao Éder Pinheiro, superintendente da holding Realpar, e ao Jocimar Moreira da Silva, gerente de Operações da Real Cargas; e ao engenheiro Alberto Spritzer, diretor técnico

do Expresso Sul Fluminense; pelos preciosos dados sobre o desempenho dos primeiros duplos semi-reboques operados no Brasil.

- ao Adalberto e ao Carlos Pansan, diretores da Transportadora Americana; ao Antero Ribeiro, diretor da Dom Vital e sua equipe; ao jovem empresário Carlos Alberto Mira, diretor do Expresso Mira, e ao Valmir S. Almeida, gerente Operacional da mesma empresa; ao João Carlos Januário, chefe do Departamento de Logística do Expresso Araçatuba; ao Gilvan Ferreira, diretor do grupo ITD; ao João Partezani Neto, superintendente da Empresa Partezani Transportes Ltda.; ao Manoel Leite, diretor Operacional, e ao Edson Rafael, gerente Operacional da Transportadora Cometa; pelas entrevistas concedidas e pela oportunidade de visitar suas transportadoras;
- ao engenheiro Luiz Wilson Marques, diretor da Transervice; ao diretor Executivo da NTC- Associação Nacional das Empresas de Transportes Rodoviários de Carga, Alfredo Peres da Silva; aos engenheiros Magalhães e Danilo Rosin, do DER de São Paulo; ao engenheiro Emerson Rozendo Salgado, chefe da Diretoria de Operações Rodoviárias do DNER; ao engenheiro Mauro Roberto Soares de Vasconcellos, diretor Geral do DER-MG; ao engenheiro Luiz Alberto Küster, diretor-geral do DER-PA; e à engenheira Karenina Dantas Eulália Rocha, diretora de Engenharia do DER-PI; pelas informações fornecidas, verbalmente ou em forma de ofícios, sobre o tráfego de veículos longos;
- ao advogado Geraldo Vianna, vice-presidente Executivo da NTC, por ter liberado, e à professora Dra. Maria Lúcia Rangel Filardo, da FIPE/USP, por ter fornecido dados, até então confidenciais, sobre a estrutura do INCT-Índice Nacional de Custo do Transporte;
- ao economista Jorge Miguel dos Santos, gerente do Departamento Técnico, e à Maria da Penha, secretária da Editora TM Ltda., pela colaboração na montagem das planilhas de custos;
- ao Márcio Stefani, assessor de Comunicações da Scania do Brasil, pelas informações sobre mercado de caminhões; e ao Roberto Barreiros, gerente de Comunicação da Mercedes-Benz do Brasil, pelos diagramas de desempenho do MBB 1935 e informações sobre freios ABS/ASR;
- ao Cláudio Alves de Oliveira, gerente de Circulação da Editora TM Ltda., pelo fornecimento do *mailing* e das etiquetas para a pesquisa com as transportadoras; à Cristhiane Augusto, da Talentum, pela digitação do questionário, e à Gráfica e Copiadora América do Sul, pela impressão sem ônus do mesmo.
- às cerca de 130 empresas de transportes relacionadas num dos apêndices, que responderam ao longo questionário enviado pelo correio e esclareceram dúvidas posteriores;
- ao ex-sócio Ryniti Igarashi, à redatora-chefe Valdir dos Santos, ao ex-gerente Comercial Marcos Manhanelli e aos demais funcionários da Editora TM Ltda., pela compreensão e estímulo;
- ao Carlos e Nádia, pela elaboração dos gráficos e pelo acabamento do trabalho;
- a todos que contribuíram, de qualquer forma, para a realização desta dissertação.

RESUMO

REIS, N.G. *Viabilidade de operação do duplo semi-reboque de cinco eixos no Brasil*. São Carlos, 1995, 323 pág. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

Este trabalho investiga a viabilidade de se implantar no Brasil o veículo combinado de cinco eixos constituído de um cavalo mecânico mais dois semi-reboques acoplados por um *dolly* intermediário e chamado aqui de Duplo Semi-Reboque (DSR). Essa investigação inclui tanto aspectos econômicos (custos operacionais) quanto operacionais (densidade das cargas, rotas, demandas, veículos utilizados), tecnológicos (veículos e implementos), legais (pesos e dimensões), de segurança (estabilidade, dirigibilidade, risco de acidentes e impacto sobre o tráfego de outros veículos) e de inter-relação com a infra-estrutura rodoviária.

Como a configuração analisada é largamente utilizada nos Estados Unidos, com o nome de *twin trailer truck*, faz-se uma ampla revisão da literatura norte-americana. O estudo apresenta as características técnicas do *twin*, levanta a legislação norte-americana de carga por eixo e mostra como a busca de produtividade e o aumento da carga volumosa conduziram à necessidade de veículos mais longos. Compila artigos sobre a estabilidade, a dirigibilidade e o impacto sobre o tráfego dos veículos longos combinados. Sintetiza pesquisas comparando taxas de acidentes dos veículos combinados com os caminhões convencionais. A maioria desses estudos conduz à conclusão de que, embora os *twins* possam degradar ligeiramente as condições de segurança de tráfego e aumentar o desgaste dos pavimentos, essa degradação é compensada pela redução do número de viagens e do custo do transporte.

Conclui-se que o veículo seria economicamente viável no Brasil para substituir caminhões trucados em rotas de demanda limitada, e que poderia também economizar custos na substituição a veículos convencionais no transporte de cargas volumosas, sem provocar maiores impactos sobre a segurança operacional. Pesquisa com frotistas mostra que quase 50% das transportadoras de carga fracionada operam cargas de densidade compatível com o DSR. A introdução do veículo, no entanto, enfrenta fortes obstáculos legais e exigiria mudança profunda na legislação dos veículos combinados longos.

PALAVRAS CHAVES: duplo semi-reboque, veículos longos combinados, veículos articulados, engates, cargas volumosas, custos operacionais, análise de acidentes, dirigibilidade, estabilidade, sobrelargura, arraste, pesos e dimensões de veículos.

ABSTRACT

REIS, N.G. *Operation feasibility of the five axle twin trailer truck in Brasil.* São Carlos, 1995, 323 pages. Dissertation (Master Degree) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

This paper investigates the feasibility of introducing the American twin trailer truck in the Brazilian road transport network. The twin is a five axle configuration with one tractor and two semi-trailers, coupled by an intermediate dolly. The investigation embraces not only economic questions (operational costs), but also operational aspects (freight density and volume, vehicle choice, line extension etc), technological questions (vehicles, trailers and dollies), weights and dimensions legislation, safety impacts (handling and stability, impact of traffic operations and statistic studies of accident rates) and the twin's interface with the highway facilities.

The American and Canadian studies about twins are reviewed. The paper presents the technical characteristics of twins, the american weights and dimensions legislation and shows how the claim for more productivity in the transport industry and the low density freight growth have induced the use of longer combinations. The study compiles the main results presented in the literature about handling, stability and the twin trailer impact on the highway traffic and analyzes statistics comparing doubles with semi-trailer accident rates. The literature review leads to the conclusion that, although the twins could degrade slightly the vehicle traffic safety performance and accelerate the pavement wear, this degradation is overwhelmed by the reduction of the number of vehicles on the roads and direct and indirect transportation costs.

The introduction of the win trailer truck in Brazil could be advantageous in order to replace tandem trucks on low demand routes. The savings in terminal times and the higher capacity of this configuration would cut costs as compared to the straight truck, semi-trailer and truck-and-trailer configurations, without relevant deterioration of the operational safety. The results of a large sample with brazilian LTL companies show that almost 50% of them operate with a freight density that would be ideal for twins. The twin's introduction, however, faces strong legal impediments in some markets, and only would be feasible if deep changes in the Brazilian weight and dimension regulations would be undertaken.

KEY WORDS: twin trailer truck, long combinations vehicle, doubles, dolly, low density freight, LTL freight, operational costs, accident analyses, vehicle handling, stability, off-tracking, vehicles weight and dimensions.

ÍNDICE

A S S U N T O	PG
AGRADECIMENTOS	VI
RESUMO	VIII
ABSTRACT	IX
ÍNDICE	X
LISTA DE FIGURAS	XV
LISTA DE QUADROS	XVI
1. INTRODUÇÃO	01
O mercado de caminhões pesados	01
O mercado do duplo semi-reboque (DSR)	04
Obstáculos ao DSR	07
Objetivos da dissertação	08
Resumo e comentários	08
2. MÉTODO E SUMÁRIO	10
Método	10
Sumário	11
Anexos	14
3. CARACTERÍSTICAS DO <i>TWIN TRAILER TRUCK</i>	16
A família dos <i>doubles</i>	16
Tipos de <i>dollies</i>	20
Diferenças entre reboques e semi-reboques	22
Resumo e análise	24
4. O <i>TWIN TRAILER</i> E A LEGISLAÇÃO NORTE-AMERICANA	25
Evolução da legislação estadual	25
Regulamentos federais	26
Os <i>Transportation Assistance Acts</i> de 1978 e 1982	28
Análise e resumo	30
5. DIRIGIBILIDADE E ESTABILIDADE	32
Dirigibilidade dos veículos combinados	33
Resposta ao esterçamento	33
Redução das cargas por eixo	36
Estabilidade direcional	38
Balanço oscilatório	39
Percepção e reação	40
Influência da configuração na estabilidade	40
Distância de frenagem e controle	43

Impactos do DSR sobre a frenagem	44
Efeitos do comprimento e do peso bruto	45
Impacto de novas tecnologias	45
Sistema ABS	45
Sistema ASR	46
Custos do sistema ABS/ASR	47
Sistema EBS de freio eletrônico	47
Freio eletrônico Bosch/Scania	47
Sobrelargura dos DSR	48
Sobrelargura a baixa velocidade	48
Sobrelargura a alta velocidade	53
Tombamento em curvas	53
Resumo e análise	53
6. SEGURANÇA E OPERAÇÕES DE TRÁFEGO	56
Velocidade	57
Impacto do controle de velocidade	58
Impacto dos twins sobre a velocidade	59
Velocidade em rampas no Brasil	60
Resumo	62
Comprimento e ultrapassagem	62
Influência do comprimento e da configuração	63
Estimativas de DVUs (distâncias de visibilidade e ultrapassagem) para o DSR	67
Ultrapassagem em faixas múltiplas	68
Resumo	68
Manobras em vias expressas	69
Comportamento em interseções	69
Jatos e respingos	70
Impacto aerodinâmico	71
Bloqueio da visão	72
Nível de serviço e capacidade	72
Resumo	73
7. TAXAS DE ACIDENTES	74
Métodos para análise de acidentes	74
Influência do ambiente operacional	77
Diferenças operacionais entre DSR e SRC	78
Gravidade de acidentes	79
Opinião de motoristas	80
Conclusões das análises contidas no TRB-SR 211 [1986]	81

Análises mais recentes	81
Chirachavala et al. [1984]	82
Sparks et al [1986]	83
Oliver Castern [1987]	84
Campbell et al. [1988]	86
Jones e Stein [1989]	86
Jovanis et al. [1989]	87
Estudos da FHWA [1990]	88
Mingo et al [1991]	88
Resumo e comentários	89
8. IMPACTOS SOBRE O PROJETO E CONDIÇÕES OPERACIONAIS DAS RODOVIAS	92
Fatores de equivalência de carga	93
Comparação do TRB SR 225 [1990]	96
Comparação do TRB-SR 221 [1986]	96
Efeito de eixos mais pesados	97
Efeito da distribuição menos uniforme das cargas	98
Efeito da disposição dos eixos	98
Efeito geral no desgaste do pavimento	98
Comparação com base em Silveira [1982]	99
Cálculo para o DSR nacional	100
Análise de resultados	100
Aumento dos custos de conservação	102
Deterioração de pontes e bueiros	103
Acostamento e acessórios laterais	103
Projeto e construção	104
Sobrelargura	105
<i>Tractrix integrator</i>	110
Observações de campo	111
Determinação matemática da sobrelargura	111
Determinação cinemática da trajetória	112
Modelos de computador	114
Ruído e poluição sonora	115
Resumo e análise	115
9. A EXPERIÊNCIA OPERACIONAL NOS EUA	117
A indústria do Transporte Rodoviário de Carga (TRC) norte-americana	117
Aplicações dos VCLs	120
<i>Rocky Mountain Double</i>	120

<i>Turnpike Double</i>	121
<i>Triple Trailers</i>	121
Vantagens dos <i>Twins</i>	122
Maior capacidade cúbica	123
Menos quilômetros rodados	125
Mais cargas unitizadas	126
Eliminação de manuseios intermediários	126
Desvantagens dos <i>twins</i>	127
Problemas logísticos e operacionais	128
Movimentação nos terminais	129
Outras desvantagens	130
Utilização dos DSRs	130
Razões para não usar	132
Porque a Europa prefere Romeu-e-Julietta	132
Resumo e Análise	134
10. A EXPERIÊNCIA E A OPINIÃO DOS OPERADORES BRASILEIROS	136
A estrutura da pesquisa de campo	136
Método utilizado	136
Distribuição por especialidades	137
Área de atuação das empresas	140
Visitas pessoais	141
Resultados da pesquisa	142
Rotas em pistas duplas	142
Rotas mistas	143
Cargas com densidade inferior a 200 kg/m ³	145
Rotas e densidades	146
Densidade das cargas fracionadas	148
Frota própria	149
Romeu-e-Julietta	151
Utilização de carreteiros	152
Configurações para cargas volumosas	153
Capacidade das carretas	154
Possibilidade de usar o DSR	154
Veículos que o DSR substituiria	155
Peso <i>versus</i> volume	157
Comprimentos preferidos	158
Motivos para usar o DSR	160
Motivos para não usar o DSR	160

Influência da distância	161
Tipo de tração	162
Tipo de cabina	162
Tipo de <i>dolly</i>	163
Restrições legais	164
Cuidados voluntários	166
Primeiros usuários do DSR	167
Expresso Sul Fluminense	167
Real Cargas	169
Resumo e análise	170

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO/NÚMERO/TÍTULO	PG.
CAPÍTULO 1	
1.1. Evolução das vendas de caminhões: todas as classes x pesados	03
1.2. Evolução das vendas de pesados: cabina avançada x total	03
1.3. Evolução da participação de pesados e da linha R na venda de camihões	04
CAPÍTULO 3	
3.1. A família dos Doubles norte-americanos	17
3.2. Dimensões típicas do Twin Trailer Truck com cabina avançada	18
3.3. Tipos de acoplamentos utilizados pelos duplos semi-reboques	19
CAPÍTULO 5	
5.1. Estabilidade: dollies aperfeiçoados x A-dolly	42
5.2. Amplificação traseira: dollies aperfeiçoados x A-dolly	43
5.3. Arraste máximo de várias configurações	49
5.4. Arrastes de DSRs x SRCs	52
CAPÍTULO 6	
6.1. Curvas de velocidade instantânea em rampas de 7% (Brasil)	61
6.2. Variação da DVU com o comprimento do veículo	65
CAPÍTULO 8	
8.1. Arraste não uniforme, trajetórias em transiente	107
8 2. Representação da trajetória em regime de arraste constante	109
8.3. Trajetória de um ponto que persegue o eixo direcional	113
CAPÍTULO 10	
10.1 Empresas que operam rotas em pistas duplas	142
10.2. Empresas que operam rotas mistas	144
10.3. Aderência das densidades a uma normal	149
10.4. Possibilidade de usar o DSR	155
10.5. Como os frotistas utilizariam o DSR	157
10.6. Comprimentos (de carretas de DSR) preferidos pelos frotistas	158
10.7. Motivos para usar o DSR	160
10.8. Motivos para não usar o DSR	161
10.9. Tração preferida para o DSR	162
10.10. Cabina preferida para o DSR	163
10.11. Dollies preferidos para o DSR	164
10.12. Restrições legais que os frotistas estariam dispostos a acatar	165
10.13. Cuidados voluntários que os frotistas estariam dispostos a tomar	167

LISTA DE TABELAS E QUADROS

Nº	ASSUNTO	PG
1.1.	Evolução das vendas dos caminhões pesados e dos de cabina avançada	02
5.1.	Distribuição das cargas nos DSRs de cinco eixos	37
5.2.	Largura de ocupação por tipo de veículo e por tipo de conversão	50
5.3.	Soma dos quadrados das distâncias entre eixos para várias configurações	51
6.1.	Distância de visibilidade e de ultrapassagem em função do comprimento do veículo impedidor	66
6.2.	DVUs segundo HARWOOD & GLENNON [1989]	67
6.3.	DSR x veículos convencionais em ultrapassagens	67
6.4.	Tempos de cruzamento de veículos comerciais em relação ao automóvel	70
7.1.	Elementos estatísticos de um acidente	76
7.2.	Questões fundamentais para se definir um sistema nacional de monitoramento de acidentes de trânsito	76
7.3.	Fatores que contribuem para o padrão de acidentes	77
8.1.	Fatores de equivalência para eixos simples e em tandem	95
8.2.	Impacto do DSR sobre o pavimento segundo o SR-225	96
8.3.	Confirmação do impacto do DSR sobre o pavimento	99
8.4.	Fatores de equivalência para cargas usuais	100
9.1.	Estrutura do transporte rodoviário de cargas nos Estados Unidos	119
9.2.	Volumes teóricos relativos: DSR.x SRC	123
9.3.	Volumes comparativos segundo HANSEN [1979]	124
9.4.	Volumes comparativos segundo SR-223 [1990]	125
10.1.	Especialidades das empresas pesquisadas	138
10.2.	Estados e países cobertos pela amostra	140
10.3.	Percentagens de cargas com densidades menores do que 200 kg/m^3	146
10.4.	Percentagens de rotas com densidades menores do que 200 kg/m^3	147
10.5.	Aderência das densidades da carga fracionada a uma distribuição normal	148
10.6.	Frota própria das empresas pesquisadas	150
10.7.	Frota da autônomos usada pelas empresas pesquisadas	153
10.8.	Configurações usadas para cargas volumosas	154
10.9.	Veículos que seriam substituídos pelo DSR	156
10.10.	Desempenho do DSR da Sul Fluminense	168
10.11.	Rodotrens x opções usuais (na Sul Fluminense)	168

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

Embora as estatísticas sobre o assunto sejam precárias, pode-se afirmar que a participação histórica dos veículos pesados¹ na frota nacional de caminhões sempre foi muito pequena. Em 1982, por exemplo, dos 961 464 caminhões que rodavam pelo país, apenas 84 456 (9,3%) eram pesados [NTC, 1983].

Até alguns anos atrás, o crescimento dessa fatia era bastante lento. Em 1991, de uma frota de 1 105 148 caminhões, somente 148 332 (12,5%) eram pesados [NTC, 1992]. Da mesma forma, a presença desses modelos nas vendas de veículos comerciais vinha sendo pequena e mostrava crescimento lento. Segundo dados da Scania (*ver tabela 1-1 e figuras 1-1 e 1-2*), em 1982, os pesados representaram apenas 11,4% dos caminhões vendidos no país; e em 1987, esse percentual não passava de 16,4%.

1.1. O mercado de caminhões pesados

Além de tradicionalmente estreito, o mercado dos pesados sempre mostrou uma nítida preferência pelos veículos de cabina convencional (semi-avançada), em detrimento dos caminhões de cabina avançada, populamente conhecido como “cara chata”. A participação desses últimos nas vendas da classe dos pesados, que era de 11,8% em 1982, caiu para apenas 2,6% em 1987 e não passou de 6% em 1992 (*ver tabela 1-1 e figura 1-3*).

Este quadro, no entanto, está mudando radicalmente nos últimos três anos. Em 1993, dos 37.427 caminhões vendidos, nada menos do que 13 938 (37,2%) eram pesados. Naquele ano, pela primeira vez no país, o caminhão mais vendido foi um pesado (o T 113 da Scania, com cabina convencional²). Em 1994, as vendas de caminhões pesados cresceram para 19 500 unidades e representaram cerca de 38,5% das vendas totais³.

1 De acordo com classificação do Geipot, geralmente aceita, caminhão pesado é aquele que tem capacidade máxima de tração (CMT) superior a 30 t.

2 As vendas desse modelo somaram 3708 unidades, ou seja 9,9% das unidades comercializadas em 1993.

3 Vendas totais estimadas em 50 700 unidades pela revista Custos & Fretes nº 44.

TABELA 1-1
EVOLUÇÃO DAS VENDAS DOS CAMINHÕES PESADOS
E DOS PESADOS DE CABINA AVANÇADA

ANO	TOTAL	PESADOS	PART. PESADOS (%)	SCANIA	CABINA AVANÇ.	CAB.AV./ SCANIA (%)	CAB. AV./ PESADOS (%)
1982	40 564	4 632	11,4	2 137	545	25,5	11,8
1983	34 099	4 467	13,1	1 907	290	15,2	6,5
1984	42 074	5 716	13,6	2 667	270	10,1	4,7
1985	54 680	7 431	13,6	3 306	173	5,2	2,3
1986	70 234	9 978	14,2	4 057	233	5,7	2,3
1987	55 135	9 036	16,4	3 309	235	7,1	2,6
1988	53 325	10 071	18,9	3 716	301	8,1	3,0
1989	46777	9 606	20,5	4 099	331	8,1	3,4
1990	39 928	9 524	23,9	3 730	236	6,3	2,5
1991	40 334	9 389	23,3	3 400	53	1,6	0,6
1992	25 320	8 402	33,2	3 211	504	15,7	6,0
1993	37 427	13 938	37,2	5 260	1141	21,7	8,2
1994	50 700 ^a	19 500	38,5	6 900	2000 ^b	23,2 ^c	10,3
FONTE: Scania Brasil. ^a Estimativa de <i>Custos e Fretes</i> n° 44. ^b Inclui 400 unidades do F-12 importadas pela Volvo. ^c Computadas apenas as 1 600 unidades produzidas pela Scania.							

A ascensão dos pesados tem sido acompanhada pelo aumento da produção dos veículos de cabina avançada. Na Scania, por muito tempo, o único fornecedor dessa configuração, após alguns anos de bons resultados, as vendas do modelo R, que vinham declinando consideravelmente, mostram recuperação consistente nos últimos anos. Sua participação nas vendas de caminhões pesados da marca saltou de 12,1% em 1987 para 21,8% em 1993 e 23,2% em 1994.

A descoberta desse nicho permitiu à Volvo vender cerca de quatrocentas unidades importadas do seu modelo F-12 importado em 1994 e despertou o interesse da Mercedes-Benz, que promete importar modelos pesados de cabina avançada. Hoje, a cabina avançada já responde por mais de 10% do mercado interno de caminhões pesados.

FIGURAS 1.1 e 1.2

EVOLUÇÃO DAS VENDAS DE PESADOS: TODAS AS CLASSES X PESADOS

EVOLUÇÃO DAS VENDAS DE PESADOS: CABINA AVANÇADA X TOTAL

FONTE: SCANIA

FIGURA 1.3

EVOLUÇÃO DA PARTICIPAÇÃO DOS PESADOS E DA LINHA "R" NAS VENDAS DE CAMINHÕES

FORNTE: SCANIA

1.2. Mercado do duplo semi-reboque (DSR)

Ao substituir o *truque* (caminhão de três eixos sobre chassi) convencional, com capacidade para cerca de 12 t de carga líquida e equipado até recentemente com motor de baixa relação potência/peso⁴, por um conjunto cavalo mais semi-reboque com capacidade de carga superior a 25 t⁵, o frotista busca principalmente redução de custo operacional. Uma redução que se materializa, por exemplo, na maior capacidade de carga, no menor investimento por tonelada líquida, na maior velocidade comercial, na menor ociosidade do cavalo, no menor número de veículos e de motoristas, na redução do custo de manutenção e dos custos logísticos etc. Já a opção crescente pelo veículo de cabina avançada tem sido freqüentemente justificada pela possibilidade de se aproveitar a tonelada

4 Historicamente, essa faixa era dominada pelo modelo L 1111, da Mercedes-Benz, como 110 hp de potência. O L 1111 foi sucedido pelo L 1113 (130 hp). Hoje, a Mercedes opera nessa faixa com veículos de 140 hp e 180 hp (1214 e 1218). Os fornecedores mais recentes (Ford e VW) já entraram no mercado com veículos mais potentes.

5 Ver dados mais precisos no Anexo A, sobre implementos rodoviários.

8 Ver o desenvolvimento do assunto no capítulo 11, sobre legislação brasileira de pesos e dimensões de veículos.

adicional autorizada pelo Decreto 98 933/90, que elevou de 5 para 6 t a carga permitida no eixo dianteiro⁶.

O motivo mais importante, no entanto, parece ser o fato de que essa configuração, principalmente quando aplicada a veículos com pequena distância entre eixos, reduz o comprimento do cavalo mecânico, possibilitando o uso de carretas mais compridas⁷. Com isso, o frotista, embora sacrificando ligeiramente o conforto e a segurança do motorista, obtém uma capacidade volumétrica bem maior. Esse aumento é muito importante, uma vez que a redução da densidade das cargas à medida que um país se desenvolve constitui fenômeno já devidamente documentado. Segundo OWEN [1975, p 37 e 38], nos primeiros estágios da industrialização, são esperadas cargas de alta densidade, pois predominam os materiais pesados. Com o passar do tempo, porém, crescem a fabricação e o transporte de produtos mais caros e mais leves. Esse crescimento exige configurações de maior capacidade volumétrica e o aumento da produtividade do transporte.

É o que já vem ocorrendo, por exemplo, nos Estados Unidos há mais de uma década. Para contrabalançar a desregulamentação do setor, a crise do petróleo e a redução da velocidade máxima de 60-70 mph para 55 mph, o *Surface Transportation Assistance Act*, de 1982, obrigou os Estados a permitirem o tráfego regular nas principais rodovias do país⁸ do *twin trailer truck*, isto é, duplos semi-reboques para cargas leves, também chamado neste trabalho simplesmente de DSR.

Essa configuração é formada por um cavalo mecânico 4x2 mais dois semi-reboques de um eixo e 28 pés (8,5 m) cada, interligados por um *dolly*⁹ intermediário, também de um único eixo. Quando tracionada por um cavalo convencional, essa configuração atinge comprimento de 67 pés (20,42 m), podendo chegar a 74 pés (22,55 m) quando utiliza cavalo de cabina convencional. Seu peso bruto total combinado (pbtc) não pode ultrapassar 80 000 libras (cerca de 36 t), das quais cerca de 42 000 libras (19 t) de carga útil. Como cada carreta tem aproximadamente 50 m³, a densidade média ideal dessa configuração situa-se em torno de apenas 190 kg/m³ [10].

Na Europa, a queda, nos últimos dez anos, da densidade média das cargas de 300 para 200 kg/m³ levou ao desenvolvimento de engates eletrônicos curtos, que permitem a utilização nos “Romeu-e-Julietta” de duas unidades de até 8,20 m, sem ultrapassar o limite de comprimento de 18 m.

Pode-se prever, portanto, por analogia, que a tendência da densidade média dos produtos brasileiros industrializados será de queda ao longo dos anos, passando a exigir configurações de maior capacidade volumétrica. Ao mesmo tempo, a redução dos estoques nos distribuidores e nos pontos de vendas, somada à necessidade de se substituir os tradicionais truques por veículos mais

7 Enquanto um semi-reboque para cavalo convencional pode ter, no máximo, 13,60 m de comprimento, um semi-reboque para cavalo com cabina avançada tem comprimento na faixa de 14,80 a até 15,70 m (veja anexo A).

8 O trânsito dessa configuração é livre na chamada “rede designada” (veja mais detalhes no capítulo 3).

9 Estrutura montada sobre um eixo, dotada de lança e olhal para engate na unidade da frente e de quinta roda para engate da unidade de trás (veja descrição mais completa no capítulo 2 e no glossário).

10 As tabelas de fretes da NTC-Associação Nacional das Empresas de Transporte Rodoviário de Cargas consideram como volumosa toda carga cuja densidade esteja abaixo de 300 kg/m³.

econômicos, poderá requerer composições com duas ou mais unidades tracionadas, especialmente para atender às chamadas rotas mistas (aquelas onde a carreta traseira é deixada ou trocada num terminal ou cliente intermediário, entre a origem e o destino final).

A menor densidade, somada a novas necessidades logísticas e operacionais, poderá criar, portanto, a médio e longo prazos, um mercado para veículos longos combinados com maior capacidade volumétrica que os semi-reboques convencionais, mais versáteis do que os atuais furgões semi-reboques com pisos rebaixados e mais leves e mais curtos que os grandes rodotrens para cargas pesadas, já em uso no país em setores como o transporte de cana, madeira ou produtos siderúrgicos.

As experiências com tal configuração ainda são bastante incipientes. A primeira tentativa nesse sentido ocorreu em 1989, quando a extinta FNV-Fruehauf, posteriormente absorvida pela Tectran, de São José dos Campos-SP, mostrou durante a feira Brasil Transpo uma configuração com dois semi-reboques de 7,80 m cada, tracionados por um Scania de cabina avançada e reduzida distância entre eixos, acoplados através de um *dolly* telescópico¹¹. Esse conjunto chegou a ser utilizado por algum tempo pelo Expresso Sul Fluminense e sua operação não apresentou maiores dificuldades¹².

Tal alternativa significa um ganho de cerca de 15% de espaço em relação a um semi-reboque de 13,60 m, o maior comprimento que se pode atingir usando-se cavalo convencional, sem ultrapassar o limite legal de comprimento de 18,15 m. Esse ganho, no entanto, torna-se bem menor quando se compara o comprimento total dos dois semi-reboques com o de uma carreta convencional para caminhão com cabina avançada, cujo comprimento máximo varia entre 14,80 a 15,70 m¹³.

Mais recentemente, em meados de 1994, a Real Cargas, que fazia os trajetos São Paulo-Uberaba e São Paulo-Uberlândia utilizando caminhões Volkswagen trucados, resolveu criar uma rota mista São Paulo-Uberaba-Uberlândia. A linha passou a ser atendida por dois conjuntos de duplos semi-reboques, com evidente redução do tempo de carga e descarga em Uberlândia, onde ocorria apenas a troca da carreta traseira¹⁴. Fabricados pela Rodoviária, e tracionados por cavalo MBB 1935 convencional, os dois semi-reboques têm apenas 6,72 m de comprimento¹⁵, capacidade volumétrica total de 86 m³ e capacidade de carga de 28,9 t, o que eleva sua densidade ideal para 336 kg/m³. A Real Cargas, no entanto, pretende utilizar carretas mais compridas, assim que os cavalos de cabina avançada que a Mercedes-Benz passará a importar estiverem disponíveis.

11 Ver maiores informações no Anexo A.

12 Ver os resultados da operação no capítulo 10.

13 Ver dados mais completos no Anexo A.

14 No início de 1995, devido a problemas legais, os duplos semi-reboques passaram a atender a rota Campinas-Ribeirão Preto-Brasília. Veja descrição mais completa da operação no capítulo 10.

15 Veja outras características no capítulo 10 e no Anexo A.

1.3. Obstáculos ao DSR

No momento, no entanto, a utilização dessa configuração ainda enfrenta muitos obstáculos tanto de natureza legal quanto técnica ou até mesmo cultural. No primeiro grupo, destaca-se uma legislação bastante restritiva. Voltada especificamente para o transporte de cargas mais densas e para a circulação de grandes e pesados rodotrens e treminhões¹⁶, a Resolução 631 do Contran, que regulamentou a matéria, sujeita o trânsito dos duplos semi-reboques de qualquer comprimento ou pbte ao regime de autorização especial anual, dificulta bastante o tráfego noturno desses veículos¹⁷, praticamente impõe a tração 6x4 e privilegia as pista duplas de sentido único. A tração 4x2 e o tráfego em pistas de duplo sentido, embora não proibidos, são tratados como exceção¹⁸.

Do ponto de vista cultural, os hábitos dos frotistas brasileiros ainda excluem completamente a utilização de composições mais longas com duas unidades tracionadas. Predomina a chamada “cultura do semi-reboque”. A configuração conhecida como “Romeu-e-Julietta” é raramente encontrada¹⁹ e os reboques ainda estão praticamente restritos aos segmentos de madeira e cana.

Essa situação não tem estimulado a indústria de implementos a desenvolver ou trazer para o país sistemas de engate que permitam tanto ganho de espaço quanto maior segurança. A maioria dos rodotrens em operação utiliza o chamado *dolly A*²⁰, embora, tanto a literatura americana quanto a canadense [veja-se, por exemplo, o TRB-SPECIAL REPORT 211, 1986] apontem unanimemente esse *dolly* como o menos estável a velocidades típicas de estradas.

Em situações de emergência, os movimentos iniciados pelas unidades dianteiras da composição são substancialmente amplificados pela última carreta, que tende a experimentar uma aceleração lateral maior do que a dos veículos tratores. A maior consequência dessa amplificação exagerada é o tombamento prematuro dessa segunda unidade. No entanto, a utilização de *dollies* do tipo C²¹ direcionais ou mesmo de *dollies* do tipo A modificados²² pode elevar consideravelmente esse limiar de tombamento [WINKLER, 1988].

O exposto até aqui sugere que o desenvolvimento do país tende a criar mercado para configurações logisticamente mais versáteis e de maior capacidade volumétrica do que os semi-reboques convencionais, a exemplo dos *twin trailer trucks* americanos. No entanto, os raríssimos duplos semi-reboques existentes no Brasil têm sido fabricados e operados sem uma análise mais

16 Rodotrens: veículos com mais de uma articulação que utilizam *dollies* e semi-reboques. Treminhões: veículos com mais de uma articulação que utilizam ralas e reboques. Veja mais informações no capítulo 3 ou no glossário.

17 A autorização para tráfego noturno é difícil de ser obtida e seu critério varia de um DER para outro. Veja capítulo sobre legislação.

18 Ver análise completa no capítulo 11, sobre legislação de pesos e dimensões.

19 Ver resultados de pesquisa sobre configurações mais utilizadas no Capítulo 10.

20 Com um único olhal e lança convergente.

21 Com dupla barra de tração e dois olhais (ver glossário).

22 Entre eles, os modelos trapezoidal ou articulado com balanço telescópico (ver capítulos 2 e 5).

profunda de suas implicações econômicas, operacionais e de segurança. Essa desinformação tem sido responsável por uma legislação bastante draconiana e até equivocada.

Até onde se sabe, inexistem no Brasil trabalhos escritos sobre as aplicações dessa configuração, seus custos comparativos em relação aos veículos convencionais e sua segurança operacional. Além de oportuno e inédito, o tema presta-se bem ao desenvolvimento de uma dissertação de mestrado, pois é bastante delimitado e específico, como aconselham os manuais sobre o assunto [VIEIRA, 1991, p.4].

1.4. Objetivos desta dissertação

Sob o título Viabilidade de Operação do Duplo Semi-Reboque de Cinco Eixos no Brasil, esta dissertação se propõe a abordar o assunto não apenas sob seus aspectos econômicos, mas também operacionais, logísticos, jurídicos e de segurança. Nesse sentido, o trabalho também considera a interface com a infra-estrutura rodoviária (desgaste de pavimentos e impactos sobre as obras de arte) e as implicações do DSR sobre a operação rodoviária, o projeto de rodovias e o desgaste dos pavimentos.

A monografia busca identificar as aplicações mais adequadas para o DSR e os comprimentos veiculares compatíveis com a realidade brasileira. Além de sugerir modificações na legislação sobre o tráfego de veículos longos e propor novos *dollies* e outros dispositivos capazes de aumentar a segurança operacional, a dissertação procura abordar também outros aspectos relevantes, como a necessidade de treinamento e qualificação dos motoristas para veículos combinados longos, a relação potência/peso, o tipo de cabina mais adequado para o duplo semi-reboque e o impacto dessa configuração sobre a infra-estrutura.

1.5. Resumo e comentários

1. À medida que qualquer país se desenvolve, passa a produzir mercadorias mais leves e mais volumosas. O transporte dessas mercadorias, quando feito por rodovias, passa a exigir configurações de maior cubagem e maior comprimento útil.
2. Na Europa, a queda, nos últimos dez anos, da densidade média das cargas de 300 para 200 kg/m³ levou ao desenvolvimento de engates eletrônicos curtos, que permitem a utilização nos “Romeu-e-Julietta” de duas unidades de até 8,20 m, sem ultrapassar o limite de comprimento de 18 m.
3. Nos Estados Unidos, desde 1982, a legislação federal legalizou a circulação, nas rodovias principais, do *twin trailer truck*, um conjunto de dois semi-reboques de um eixo e 8,53 m (28 pés) de comprimento cada. Nesta mesma linha, a polêmica Proposta Turner advoga veículos de maior peso bruto e menor peso por eixo, que aliam a redução do desgaste dos pavimentos ao aumento da produtividade do transporte.

4. Existe mercado para novas configurações de veículos de maior cubagem no transporte de cargas com densidade inferior a 250 kg/m^3 . Há indícios de que a redução na densidade das cargas, especialmente das fracionadas, já está chegando ao Brasil. A venda de caminhões pesados de cabina avançada (que permitem carretas mais longas), por exemplo, saltou de inexpressivas 53 unidades em 1991 para cerca de 2000 veículos (inclui Volvo importados) em 1994.
5. A experiência brasileira com o duplo semi-reboque é ainda bastante incipiente e limitada a composições com 19,80 m. Em 1989, A FNV-Fruehauf (atual Tectran) desenvolveu um protótipo para cavalo de cabina avançada, com duas carretas de 7,80 m e capacidade de 103 m^3 , que foi utilizado pelo Expresso Sul Fluminense no transporte de cargas fracionadas para o Nordeste. Em 1994, a Rodoviária fabricou, para a Real Cargas duas unidades para cavalo convencional com carretas de apenas 6,72 m, utilizados em rotas mistas no transporte de São Paulo para Minas e Brasília.
6. Existem obstáculos e resistências de várias naturezas ao uso de um DSR com carretas mais longas. Como a legislação restringe a circulação noturna de veículos combinados longos e os frotistas são conservadores, há um predomínio da “cultura do semi-reboque”. Os DRS fabricados no país ainda não incorporam importantes novidades tecnológicas, como por exemplo o *C-dolly*.
7. A possível introdução do DSR envolve múltiplos aspectos tais como o estudo da experiência norte-americana, a produtividade do transporte, a existência de mercado para essa configuração, a redução dos custos operacionais, a inter-relação com a infra-estrutura, a dirigibilidade e estabilidade do veículo e seu impacto sobre: o tráfego rodoviário, as taxas de acidentes, a indústria de veículos e implementos, a legislação de pesos e dimensões de veículos etc. Todos esses aspectos justificam uma dissertação de mestrado sobre o tema. /

CAPÍTULO 2

MÉTODO E SUMÁRIO

O Duplo Semi-Reboque (DSR), configuração aqui analisada, praticamente inexiste no Brasil. É, porém, amplamente utilizada nos Estados Unidos, onde abunda literatura técnica sobre o DSR; e, em menor escala, no Canadá.

2.1. Método

As experiências americana e canadense e a escassa literatura brasileira relacionada com o tema foram levantadas através de um amplo trabalho de revisão bibliográfica, que compõe os capítulos 3 a 9.

Embora a bibliografia consultada chegue a quase uma centena de autores, uma publicação assumiu particular importância nesta revisão. Trata-se do TRB-SPECIAL REPORT 211 [1986], editado pelo TRB-Transportation Research Board, do NRC-National Research Council norte-americano. Tal destaque deve-se ao fato de que, por determinação do Congresso americano, coube ao NRC monitorar os efeitos do *twin trailer truck*, “determinando os efeitos dessa configuração sobre as rodovias e a segurança rodoviária, tanto em áreas urbanas quanto rurais, em diferentes regiões do país...”. Com o apoio da Federal Highway Administration, o NRC reuniu um grupo de dezenove membros, com experiência em muitas das áreas envolvidas, incluindo segurança veicular, operação de caminhões, estabilidade e controle de veículos, administração rodoviária, projeto e construção de rodovias, economia, estatística, legislação de segurança, engenharia de tráfego, e desempenho e condução de veículos.

O resultado do trabalho foi o TRB-SR-211 [1986], uma publicação de 338 páginas, contendo ampla revisão da literatura sobre o *twin trailer truck* existente na época. Este fato

torna a publicação ponto de partida indispensável para quem se propõe a investigar o assunto. Isso não excluiu, no entanto, um esforço para se buscar fontes mais atuais e diversificadas e a preocupação de se obter os originais dos numerosos trabalhos citados pelo TRB-SR 211. Tratando-se de materiais americanos difíceis de se obter no Brasil, em muitos casos, isso foi possível, mas em outros, não.

O bloco inicial se aproxima bastante de uma dissertação *de compilação*. Podem-se levantar restrições a essa grande preocupação com a revisão bibliográfica. A tal crítica, no entanto, deve-se contrapor o fato de que a compilação constitui atividade tão digna de crédito quanto a pesquisa. O trabalho de compilação pode constituir um ato de seriedade por parte do pesquisador que, antes de iniciar a pesquisa, deseja aclarar as idéias e documentar-se bem [ECO, 1992, p.3].

É exatamente este o caso. Mesmo que não fosse, acredita-se que o trabalho desenvolvido transcendeu à mera revisão inicial da bibliografia estrangeira. Até mesmo devido à inexistência de literatura e de experiência nacionais sobre o assunto, a transposição do DSR para a realidade brasileira, realizada nos quatro capítulos finais e nos anexos, exigiu extensa pesquisa de campo junto a montadoras, fabricantes de implementos, transportadoras e órgãos públicos ligados à legislação e fiscalização de pesos e dimensões de veículos.

Tal transposição faz-se, em muitos casos, por analogia, método admitido como válido em certas situações, desde que levadas em conta as diferenças entre as condições de transportes dos dois países [MORLOCK, 1978, p. 14]. É o caso, por exemplo, das densidades das cargas, ainda bem maiores no Brasil que nos Estados Unidos; ou da legislação de trânsito, que regula nos Estados Unidos apenas o comprimento das carretas, enquanto, no Brasil, restringe o comprimento total.

A hipótese subjacente à dissertação é a de que, desde que construídos e operados dentro de certas especificações e de uma legislação menos restritiva, o uso de DSR de cinco (em alguns casos, de seis) eixos seria viável no Brasil para aplicações específicas, como o transporte de cargas volumosas e a operação nas chamadas rotas mistas.

2.2. Sumário

A revisão bibliográfica inicia-se no *capítulo 3*, que reúne as características mais importantes do *twin trailer truck* americano, na verdade, um membro mais leve e mais curto da ampla família dos *double trailers*. Descreve e classifica os tipos de *dollies* mais utilizados assim como seus principais componentes e mostra como distinguir um reboque de um semi-reboque.

O *capítulo 4* condensa a história da legislação americana para o tráfego de veículos de carga. Mostra que o estímulo ao DSR contido na atual legislação insere-se num contexto de busca de maior uniformização dos veículos, continuado aumento de pesos e dimensões e crescente intervenção do governo federal na legislação de pesos e dimensões dos veículos.

/O capítulo 5 avalia o impacto do DSR sobre a dirigibilidade e a estabilidade do veículo na estrada, especialmente quanto à sobrelargura, resposta ao esterçamento, sensibilidade aos comandos da direção, freios, oscilações em trechos retos, estabilidade direcional nas curvas/ e o efeito “L”¹./Mostra que o duplo semi-reboque equipado com *dolly* A apresenta uma tendência para o tombamento da última unidade./ Levanta, finalmente, as inovações que estão sendo introduzidas nos *dollies* para neutralizar essa tendência.

/A maneira como a presença dos veículos mais longos influencia o fluxo de tráfego e a segurança de outros veículos é analisada no capítulo 6./Esse bloco trata particularmente dos impactos da reduzida velocidade do DSR americano em aclives, dificuldades para acessar vias expressas e mudar de faixas, efeitos de respingos e jatos d’água, impacto aerodinâmico, obstrução visual e redução da segurança devida à maior largura dos veículos comerciais (posicionamento lateral)./Conclui-se que, nos Estados Unidos, a degradação da qualidade do fluxo provocada pelos DSRs, embora individualmente ligeiramente maior do que a dos semi-reboques convencionais, é compensada pela redução do número de viagens.

\ O mesmo capítulo analisa também a segurança e a operação do DSR dentro das condições brasileiras, especialmente quanto às velocidades em rampas, cruzamento de interseções, ultrapassagens, sobrelargura e inter-relação com a infra-estrutura. Conclui-se que a deterioração provocada por esta nova configuração seria quase insignificante. \

A redução da estabilidade e a possível degradação do fluxo de tráfego trazidas pelos DSRs influem certamente nas taxas de acidentes. Este assunto é tratado exhaustivamente no capítulo 7, que condensa os resultados de dezenas de análises, comparando os índices de acidentes dos *twins* e dos *doubles* com os dos semi-reboques comuns. Embora tais análises apresentem geralmente muitas falhas e deficiências², levam, quase por unanimidade, à conclusão de que a taxa de sinistros provocados pelos DSR é igual ou apenas ligeiramente maior do que a dos causados por semi-reboques comuns e que esse acréscimo acaba compensado pela redução do número de viagens.

/A introdução de veículos de carga mais longos pode exigir modificações nos projetos de novas rodovias e na operação das já existentes/ O capítulo 8 analisa a compatibilidade entre o DSR e os pavimentos, as pontes, acostamentos e equipamentos laterais, operação e as características do tráfego./ Uma das conclusões relevantes é que, no caso americano, devido à sua configuração, que substitui dois eixos em tandem por dois eixos isolados, ao aumento do peso bruto total e das cargas por eixo, o uso do DSR eleva consideravelmente o desgaste dos pavimentos flexíveis. \

- 1 Quando ocorre travamento nas rodas do eixo trator do cavalo (ou no eixo do *dolly*), o trator (ou o *dolly*) torna-se instável. O rápido movimento rotacional resultante é comumente chamado de efeito “L” ou efeito canivete (*Jackknifing*)
- 2 As mais comuns são as deficiências das estatísticas (sejam de acidentes ou de exposição aos riscos) e ausência de controle sobre fatores que afetam (em alguns casos, até mais do que a própria configuração) as taxas de acidentes, como as condições das estradas, habilidade dos motoristas, tipo de operação, condições meteorológicas e de tráfego etc.

[O uso dessa configuração, no entanto, traz grandes benefícios operacionais para os transportadores americanos de carga geral fracionada e volumosa, compensando amplamente esse maior desgaste. O *capítulo 9*, que fecha a revisão da bibliografia estrangeira, não só relaciona tais benefícios, como levanta eventuais desvantagens da utilização do DSR e de outros veículos combinados longos.]

[Entre os benefícios, destaca-se a maior capacidade, que reduz o número de viagens, e a possibilidade de carregar as carretas simultaneamente, o que diminui o tempo parado em terminais. Quanto às desvantagens, aparecem principalmente quando há desequilíbrios de fluxo ou dificuldades logísticas, capazes de criar ociosidade.]

Reza a experiência americana que os maiores usuários do DSR são os transportadores de carga geral fracionada. Para testar tal hipótese, assim como para levantar as características do *twin* e do *dolly* que os frotistas julgam mais adequados para cada especialidade, assim como as restrições legais a que estariam dispostos a se submeter e os cuidados operacionais que adotariam voluntariamente, optou-se por um questionário fechado³, contendo perguntas, diretas, enviado pelo correio.

Os resultados dessa ampla pesquisa são analisados no *capítulo 10*. Constata-se que o maior interesse pelo DSR, de fato, situa-se entre o transportadores de carga comum fracionada, que operam com densidades bem menores do que os que movimentam carga comum não fracionada ou produtos especializados. Mais da metade desses transportadores operam com densidade média abaixo de 250 kg/m³, gerando um volume de carga que exige uma solução específica em termos de implemento ou mesmo de configuração.

O *capítulo 11* apresenta a legislação nacional de carga por eixo. Detém-se particularmente na Resolução 631/84 que regula a circulação de veículos com duas articulações. A Resolução mostra-se bastante restritiva à configuração estudada, que recebe tratamento idêntico ao dispensado às cargas super-pesadas, como cana, madeira ou bobinas siderúrgicas. Foram pesquisados também procedimentos e critérios adotados pelos DERs para a concessão de Autorização Especial de Trânsito. Constata-se, além de certa desinformação, critérios heterogêneos sobre o assunto. No Estado de São Paulo, por exemplo, a circulação noturna do DSR enfrenta grandes restrições em estradas de maior densidade de tráfego. Já o DNER, embora permita o tráfego diuturno de composições de até 19,80 m, também cria obstáculos à circulação noturna de DSRs de maior comprimento. O mesmo capítulo condensa ainda proposta de alteração da Resolução 631, em discussão no Denatran, mas que não chega a incorporar avanços significativos em relação aos duplos semi-reboques leves com mais de 19,80 m de comprimento.

[Para analisar a viabilidade econômica do DSR, o *capítulo 12* compara custos de várias configurações tanto no transporte de cargas de densidade normal quanto na movimentação de mercadorias volumosas, seja em rotas de alto fluxo ou de demanda restrita.] Conclui-se

3 Diz-se que um questionário é fechado quando indica todas as alternativas de respostas.

que o veículo combinado é mais econômico do que os truques tradicionais nas chamadas rotas mistas⁴, seja transportando cargas volumosas ou de densidade normal, quando uma carreta é trocada no meio do percurso ou quando uma unidade é deixada num ponto intermediário, cuja distância ao destino seja cerca de 25% do percurso total. Economizando tempo de carga e descarga, o DSR mostra-se geralmente vantajoso também na substituição dos semi-reboques, para o transporte de cargas volumosas em rotas de grande fluxo.✓

O capítulo 13 reúne as conclusões do trabalho. Em síntese, a introdução do DSR com até 24 m de comprimento e carretas abaixo de 10 m para transportar cargas fracionadas de densidade na faixa de 200 a 250 m³ poderá aumentar a produtividade do transporte, sem prejuízo da segurança, desde que tomadas as precauções técnicas necessárias e superados os obstáculos legais.✓

2.3. Anexos

O atual estágio de fabricação do DSR, suas características, assim como as das opções tradicionais e mais avançadas para o transporte de carga volumosa e dos cavalos mecânicos nacionais, foram levantados através de pesquisa com as principais indústrias de implementos e montadoras e condensados no *anexo A*. Constata-se efetiva defasagem tecnológica na fabricação dos *dollies*, que se manifesta através da ausência no mercado brasileiro do *dolly C*, de outros modelos aperfeiçoados de acoplamentos e das lanças telescópicas, que reduzem e permitem variar a distância morta entre as carretas. A preocupação em manter o DSR dentro do limite legal de 19,80 m levou ao desenvolvimento de configurações cuja capacidade volumétrica é geralmente inferior, ou quando muito, igual, à das unidades “Romeu-e-Julietta” e mesmo de alguns semi-reboques. A cultura do semi-reboque está levando os frotistas a optar por carretas mais longas ou rebaixadas de capacidade superior a 100 m³, tracionadas por cavalos de cabina avançada e pequena distância entre eixos. Isso limita os benefícios do DSR às vantagens logísticas resultantes da redução dos tempos de parada nos terminais.

Para se tirar partido de uma maior cubagem e de uma maior produtividade, seria necessário eliminar as restrições ao trânsito noturno impostas pelos DERs aos veículos combinados com mais de 19,80 m.

Para fundamentar a análise de viabilidade econômica, foram montadas no *anexo B* quinze planilhas de custos envolvendo os veículos e os implementos mais utilizados no transporte de carga comum e carga volumosa e as alternativas propostas. Este anexo apresenta também os critérios e levantamentos de preços realizados para elaborar as planilhas.

⁴ Rotas com demanda limitada a, no máximo, um veículo trucado diário por destino, nas quais dois destinos diferentes podem ser colocado numa mesma rota e atendidos por um único veículo combinado.

O *anexo C* apresenta os trechos mais importantes da legislação americana sobre o *twin trailer truck*. Um extrato da legislação brasileira sobre o mesmo assunto e sobre a circulação de veículos combinados longos está no *anexo D*. Por sua vez, o *anexo E* reproduz ofícios do DNER e dos DERs contendo procedimentos adotados para a concessão de AET- Autorização Especial de Trânsito aos veículos combinados longos.

O questionário utilizado para levantar a opinião dos transportadores sobre o DSR é apresentado no *anexo F*. As empresas que responderam ao questionário estão relacionadas no *anexo G*.

A *bibliografia* e um *glossário*, contendo tanto termos americanos quanto brasileiros, completam a dissertação.

CAPÍTULO 3

CARACTERÍSTICAS DO *TWIN TRAILER TRUCK*

A expressão americana *twin trailer truck* costuma ser usada de maneira genérica e pouco precisa pela literatura especializada. VALLETE et al¹[1985], citados por GLAUZ e HARWOOD [1985, p. 17], por exemplo, empregam essa expressão como sinônima de *double trailer* ou *double bottom*. HANSEN [1979, p. 26] faz referência a grandes *twin trailer trucks* usando carretas de 40 pés (12,2 m) e 45 pés (13,7 m), com capacidades respectivamente para 141,6 e 164,3 m³.

3.1. A família dos *doubles*

No entanto, o *twin trailer truck* é apenas um membro mais leve e mais curto da grande família dos *double trailer trucks* (figura 3-1), que engloba todas as composições constituídas por um cavalo mecânico e mais duas unidades rebocadas, geralmente, ambas semi-reboques, com um ou mais eixos, acopladas através de um *dolly* intermediário [glossário do TRB-SR 211, 1986, p. 216].

Quando esses veículos combinados excedem os limites legais de comprimento, são chamados de *LCV-Longer Combination Vehicles*². Os LCVs geralmente têm mais do que 75 pés (22,9 m) de comprimento) [Western Highway Institute, 1992, p.1].

Entre as versões mais pesadas dos *doubles*, estão os *turnpike doubles*, composições que utilizam cavalos mecânicos de três eixos, tracionando duas carretas de 45 pés (13,7 m) ou 48 pés (14,6 m) com dois eixos em tandem³ ou nove eixos no total. Na faixa intermediária

1 VALLETE, G.R.et al. *Report to Congress on Large Truck Accidents Causation*. NHSTA, U.S. Department of Transportation, 1982.

2 Veja mais características dos LCVs em 9.2.

3 De acordo com a NBR 11412 (1990, p. 2), um conjunto de eixos diz-se em *tandem* quando seus eixos são simples, consecutivos e interligados entre si, de modo a igualar a distribuição de cargas.

FIGURA 3-1
A FAMÍLIA DOS *DOUBLES*

Fonte: Western Highway institute [1992]

As finalidades do *tandem* são adaptar o veículo a qualquer condição de terreno e permitir o aumento da capacidade de carga.

de peso bruto, operam os *rocky mountain doubles*, composições que utilizam um cavalo de três eixos; um semi-reboque de até 48 pés (14,6 m) com dois eixos em *tandem*; um *dolly* de um único eixo; e um segundo semi-reboque de 28 pés (8,53 m)⁴ com apenas um eixo. [GEUE 1989, p.102].

Os *intermediate doubles* são constituídos por duas carretas cada uma com 30 a 40 pés (9,1 a 12,2 m) de comprimento, tracionadas por cavalo de três eixos. Os comprimentos das duas carretas do *intermediate double* podem ser iguais ou diferentes, o que dificulta sua diferenciação visual em relação aos *rocky mountain doubles*. Por isso, muitos Estados americanos não fazem distinção entre as duas configurações [Western Highway Institute 1992 p.13].

Por sua vez, o *twin trailer truck*, denominado pelo Western Highway Institute [1992] de *standard western double*, não passa de um *double* leve, mais curto e com menor número de eixos, formado por um cavalo mecânico de dois ou três eixos e por dois semi-reboques curtos (entre 27 e 30 pés) e de um único eixo, geralmente, ligados por um *dolly* intermediário (figuras 3-2 e 3-3).

FIGURA 3-2
DIMENSÕES TÍPICAS DO TWIN TRAILER TRUCK

Fonte: TRB-SB 211 [1986, p. 218]

A literatura mais recente denomina esse veículo de *STAA-double* porque sua operação com carretas de até 28 pés (8,5 m) foi autorizada pelo *Surface Transportation Assistance Act*, editado no final de 1982 e que entrou em vigor no início de 1983⁵. Quando se refere ao modelo americano, este trabalho usa também a expressão *western double*, pois o Oeste americano foi pioneiro no uso do *twin trailer truck*.

⁴ Segundo o Western Highway Institute (1992), o comprimento da segunda carreta pode variar entre 26 e 29 pés.

⁵ Veja capítulo 4.

Será usada também a palavra *twin* no lugar da expressão completa *twin trailer truck*⁶. O conjunto será mencionado ainda, algumas vezes, como *veículo múltiplo* ou até mesmo, como *double*⁷ leve.

FIGURA 3-3
TWIN TRAILER TRUCK COM A-DOLLY E C-DOLLY

Fonte: Winkler [1988, p. 3]

No Brasil, essa configuração poderia ser chamada, na terminologia corrente, de *rodotrem leve*⁸ ou ainda de veículo biarticulado. Mas, para efeito deste trabalho, embora se use eventualmente o termo rodotrem, será dada preferência a uma denominação mais técnica e mais descritiva, ou seja, *Duplo Semi-Reboque (DSR)*, quando o texto se referir à versão brasileira desta configuração, com cinco ou seis eixos. Por sua vez, o conjunto composto por

⁶ Não será usada a sigla *TTT*, para evitar confusão com o *Triple Trailer Truck*.

⁷ Como se viu, *double* é uma expressão mais genérica.

⁸ O rodotrem é a composição que utiliza dois ou mais semi-reboques. Já o chamado *treminhão* é constituído por um caminhão com carroçaria ("Romeu") tracionando dois ou mais reboques ("Julietas"), geralmente acoplados por rala (*dolly* sem a quinta-roda, parafusado à dianteira da carreta).

um cavalo mais um único semi-reboque será chamado de *Semi-Reboque Convencional (SRC)* ou simplesmente de *semi-reboque*.

Acoplando-se à composição DSR um terceiro semi-reboque curto, geralmente, através de um segundo *dolly*, obtém-se a unidade denominada *triple trailer truck*, isto é, o Triplo Semi-Reboque (TSR), cujo comprimento final varia de 98 pés (29,9 m) a 110 pés (33,5 m) [GEUE, 1989, p. 102].

Nos Estados Unidos, portanto, o *twin* é um *double* com carretas curtas (máximo de 30 pés) e apenas cinco, ou no máximo, seis eixos. Geralmente, cada um desses eixos suporta carga inferior ao limite permitido pela legislação federal⁹. As distâncias entre os eixos extremos de um *twin trailer truck* típico de cinco eixos é de 61'2", isto é, cerca de 19,80 m. O comprimento máximo dessa composição é da ordem de 67 pés (20,42 m). Desse total, 17,06 m são ocupados pelos semi-reboques e apenas 3,35 m são perdidos¹⁰. Quando se usa o cavalo-mecânico convencional¹¹, sua dimensão cresce para 21,3 até 22,5 m [TRB-SR-211, p.218].

Esse comprimento permite, de acordo com a *Bridge Formula*, peso bruto combinado máximo de 80 000 libras nas rodovias do sistema interestadual. No entanto, o *twin trailer truck* típico é dimensionado para 66 000 libras (29,7 t). Por razões de segurança¹², as cargas por eixo são sensivelmente decrescentes do primeiro até o último eixo.

Um DSR com dois furgões de 28 pés, geralmente, não transporta mais do que 18,5 t de carga, embora sua capacidade volumétrica atinja 96,5 m³. Isso se explica porque as maiores aplicações do veículo estão nas cargas de baixa densidade¹³ [HANSEN, 1979, p. 26].

3.2. Tipos de *Dollies*

O *dolly* é um veículo rebocado por meio de articulação, destinado a aliviar a carga sobre a unidade de tração, facilitando o deslocamento da mesma [NBR 11412, 1990, p. 2]. O *dolly* consiste numa estrutura montada sobre um ou dois eixos¹⁴ e engatada no semi-reboque da frente através de uma lança¹⁵ (barra) de tração e um dispositivo de engate. Sobre essa estrutura, é montada uma quinta-roda para apoiar o semi-reboque traseiro.

9 20 000 libras ou cerca de 9 080 kg.

10 O vão entre os semi-reboques é de 0,91 m e distância entre o pára-choque dianteiro e a borda dianteira da primeira carreta, de 2,44 m.

11 Com motor na frente da cabina (*engine forward the cab*). Tipo de cabine também chamada de semi-avançada. Tipo de veículo chamado popularmente de "torpedo", "narigudo" ou ainda "ocinhudo". Quando a cabina fica sobre o motor (*cab-over-engine*), diz-se que a cabine é avançada, ou que o veículo é do tipo "cara-chata".

12 Ver capítulo 5.

13 No máximo, cerca de 192 kg/m³ ou 12 libras/pé cúbico.

14 No caso do DSR, o *dolly* é montado sobre um único eixo. No caso de *doubles*, poderá ser montado sobre dois eixos.

15 Segundo a NBR-11412 [1990, p. 11], a denominação oficial desse componente é *lança de tração*. A BERNARD KRONE [1987] usa também o termo *cambão*.

A lança, por sua vez, tanto pode ser uma extensão rígida da estrutura quanto uma extensão com possibilidade de rotação vertical¹⁶.

O *dolly* pode ser também parafusado diretamente sob a unidade traseira, dispensando o pino-rei e a quinta-roda¹⁷. Nesse caso, a segunda carreta deixa de ser um semi-reboque e passa a funcionar como reboque¹⁸.

A classificação dos *dollies* varia bastante de um autor para outro e dos Estados Unidos para o Canadá. Alguns autores usam as primeiras letras do alfabeto para indicar o tipo de lança: enquanto o *dolly A* tem lança convergente (com um único olhal), o *dolly B* tem lança com barras paralelas e dois olhais. Outros usam as mesmas letras para indicar se o *dolly* é independente (*A*) ou permanente, isto é, constitui um apêndice da unidade da frente (*B*). Quando o engate é feito através de quinta-roda montada na traseira da unidade da frente, é chamado de *B-train*. Há ainda autores que preferem chamar de *C* o *dolly* independente e com barras paralelas, para evitar confusões com o *B-train*.

Segundo o TRB-SR 211 [1986, p. 212], o *dolly* convencional (independente e com lança de barras convergentes e um único olhal) é classificado como *dolly A*. Já o *dolly B* é o que tem duas lanças de tração paralelas e dois engates no semi-reboque dianteiro. Isso torna rígido o engate entre o semi-reboque dianteiro e o *dolly*, contribuindo para uma estabilidade maior do conjunto¹⁹.

Já o TRB-SR 227 [1990, p. 35] considera do tipo *A* todos o *dollies* independentes, sejam de lança simples ou dupla; e do tipo *B* apenas os não removíveis, de lança dupla, que constituem apêndice da unidade da frente e impedem o intercâmbio entre as carretas.

PEARSON [1989, p. 132], registra a intensa utilização no Canadá do *dolly A*, de barra simples, introduzido em 1972; e de dois modelos de engate duplo: o trem *B* canadense, acoplado (preso) à traseira da carreta da frente como se fosse um prolongamento dela; e o *dolly C* canadense, peça com duas lanças, porém independente das duas carretas e correspondente ao *dolly B* (de lança dupla) citado pelo TRB-SR221[1986] e ao *dolly A* de barra dupla do TRB-SR-227 [1986].

O Transportation Safety Branch [1985, p.2] do Departamento de Transportes de Alberta, no Canadá, faz referência não só aos *dollies A* e *B* como também a um acoplamento híbrido, que chama de "*B*" *train*, no qual substitui-se o *dolly* por uma quinta-roda instalada na traseira da carreta dianteira. Essa quinta-roda tanto pode deslizar e ser retirada como ser fixada permanentemente numa mesma posição. Um "*B*" *dolly* com as rodas bloqueadas para evitar esterçamentos pode funcionar da mesma maneira que o "*B*" *train*. Esse acoplamento encontra aplicações no Canadá no transporte de produtos a granel (tanques e graneleiros).

16 Algumas transportadoras, como o Expresso Sul Fluminense, usuário de *dollies* há quatorze anos, chama esse modelo de lança *oscilante*; outros, preferem lança *pivotada*.

17 Esse tipo de acoplamento é conhecido no Brasil como *dolly* com rala.

18 Esse reboque é conhecido no Brasil como "Julieta".

19 Ver capítulo 5.

Pesquisa realizada por WINKLER²⁰ [1988, p. 4 e 5], sobre inovações em *dollies* e mecanismos de acoplamento, torna a classificação mais complexa. Em busca de maior segurança, o autor testou vários tipos de *dolly A* modificados, como o móvel, o direcional forçado, o deslizante rígido, bloqueado, com lança de tração extensível, o assimétrico trapezoidal etc. Da mesma forma, foram testadas variações do *dolly C*, como os auto-direcionais e os de esterçamento controlado.

A mesma pesquisa identificou muitos exemplos de novos *dollies* em uso ou em fase de desenvolvimento, que, juntamente com os tradicionais, podem ser colocados em três categorias:

1. *Dollies A* convencionais

2. *Dollies A* modificados

- *Dollies* de centro instantâneo móvel
- *Dollies* direcionais forçados
- *Dollies* rígidos
- *Dollies* articulados
- *Dollies* direcionais deslizantes
- *Dollies* de viga extensível
- *Dollies* bloqueados

3. *Dollies* do tipo C

- Não direcionais
- Autodirecionais

No Brasil, a Bernard Krone²¹ adota *Standard A-Train* para o *dolly* com lanças convergentes; *Standard B-Train* para o *dolly* de barras paralelas; e *Piggy-Back B Train* canadense ou ainda *semi-reboque articulado* para o acoplamento sem *dolly*. RUSSO [1995, p. 4 e 5] usa *A-dolly*, *B-train* e *C-dolly*, terminologia adotada também neste trabalho²².

3.3. Diferenças entre reboque e semi-reboque

Não resta dúvida que a primeira carreta do *twin-trailer truck* é um semi-reboque. Quanto à segunda, existe divergência na sua nomenclatura. O SR-211 diz que, geralmente, ambas as carretas são semi-reboques intercambiáveis.

20 Ver detalhes no capítulo 5.

21 BERNARD KRONE DO BRASIL (1994). “Relatório Técnico ‘Rodotrens’”, contendo respostas a questionário formulado pelo aluno, preparadas pelo gerente geral Ivo Luiz Boschetti e pelo gerente de produto Rubem Penteado de Melo. Curitiba, PR.

22 O questionário aplicado às empresas de transportes brasileiras (capítulo 10), incorporou esta terminologia.

GEUE [1989, p. 102] chama de *full trailers* a segunda unidade do *rocky mountain double* ou do *turnpike* e as duas últimas unidades do *triple*.

CLAYTON e NIX [1986, p. 43] chamam a segunda carreta de semi-reboque se o engate for do tipo *B* canadense (engate preso à traseira da primeira carreta); e de reboque, se o engate for do tipo *A* ou *C* (solto), o que garante a possibilidade de intercâmbio.

Dependendo do tipo de engate adotado, a segunda carreta, embora quando vista isoladamente seja um semi-reboque, tanto pode funcionar como reboque quanto como semi-reboque. O glossário do HRB Bulletin 301 [1961, p. 127] define o reboque (*full-trailer*) como carreta construída de maneira que praticamente todo o seu peso próprio e toda a sua carga são suportados por suas próprias rodas. Já o semi-reboque (*semi-trailer*) é, segundo a mesma fonte, uma carreta construída de maneira que uma parte substancial de seu peso próprio ou de sua carga é suportada pelo cavalo-mecânico ou pela unidade da frente. O papel do *dolly* ou, mais exatamente, do *trailer converter dolly*, é justamente o de prover o apoio capaz de permitir que um semi-reboque funcione como reboque.

Essa conversão só ocorre quando o *dolly* é independente da unidade da frente ou da de trás. Se existe uma ligação rígida, isto é, o *dolly* pode ser considerado parte integrante da carreta da frente (caso do trem tipo *B* canadense), não existe a conversão do semi-reboque em reboque. Se o *dolly* é parte integrante da carreta de trás, ela torna-se física e funcionalmente um reboque.

Já na terminologia brasileira, os conceitos de reboque e semi-reboque são ligeiramente diferentes. A NBR-6067 da ABNT [1978, p. 5] considera semi-reboque apenas o veículo sobre o caminhão trator²³. Por sua vez, o reboque é, segundo a mesma fonte, a unidade tracionada mediante engate de lança com olhal ou similar²⁴.

Dentro dessa terminologia, que não admite mais do que um semi-reboque, a segunda carreta deve ser sempre chamada de reboque. Deve-se considerar, no entanto, que a NBR-6067, elaborada em 1978, é anterior à introdução no Brasil dos veículos com duas unidades tracionadas. É lícito supor, portanto, que seus conceitos já necessitam de atualização.

Parece pacífico que o uso da rala configura nitidamente a segunda unidade como um reboque, enquanto o uso do *B-train* configura claramente um semi-reboque. Isso restringe a discussão ao uso do *dolly* como unidade independente. Considerando que as duas unidades do *twin trailer*, além de geralmente possuírem pino-rei, deveriam ser idênticas e intercambiáveis, ambas serão chamadas neste trabalho de semi-reboques²⁵. Será mantida também, para a composição resultante, a denominação do DSR-Duplo Semi-Reboque.

23 Segundo a NBR-6067, semi-reboque de carga é “um veículo rebocado de carga, tracionado por meio de articulação, apoiado sobre o caminhão trator (grifo do autor) e destinado ao transporte de carga”.

24 Segundo a NBR-6067, reboque de carga “é um veículo rebocado de carga, tracionado mediante engate de lança com olhal ou similar (grifo do autor), destinado ao transporte de carga”.

25 Além do mais, se o *dolly* é uma unidade independente, a carreta não está descarregando sua carga nos seus próprios eixos.

3.4. Resumo e análise

1. O *twin trailer truck* é o membro mais leve e mais curto da grande família dos *doubles* americanos. Esta família inclui os *turnpike doubles*, os *rocky mountain doubles*, os *intermediate doubles* e, por extensão, os *triples*.
2. O *STAA-double* ou *standard western double* é constituído por dois semi-reboques de 28 pés ligados por um *dolly* intermediário. Seu pbt atinge 80 000 libras (36 t) e a tara chega a 35.000 libras (16 t). Com cabina avançada, sua dimensão máxima alcança 67 pés (20,42 m), dos quais apenas 11 pés (3,35 m) são perdidos, sendo 8 pés (2,44 m) da dianteira do cavalo à face dianteira da primeira carreta e 3 pés (91 cm) entre as duas carretas, considerando-se o cavalo com distância entre-eixos de 10 pés (3,05 m). Sua capacidade volumétrica atinge cerca de 100 m³. As maiores aplicações do veículo estão nas cargas de baixa densidade.
3. Para efeito deste estudo, adota-se a seguinte classificação de *dollies*: *A dollies*, para os que têm barras convergentes de tração e um único olhal; *C dolly*, para os que têm barras paralelas de tração e dois olhais; e *B-train*, para a quinta-roda apoiada diretamente sobre a traseira do primeiro semi-reboque. Serão tratadas, embora marginalmente, as configurações tipo Romeu-e-Julietta, que têm *dolly* com *rala* (isto é parafusado na traseira da segunda carreta, sem quinta-roda) ou engate curto central, localizado embaixo do reboque.
4. Embora o *converter-dolly* permita ao segundo semi-reboque funcionar como reboque, a segunda unidade do *twin* será denominada semi-reboque. A configuração como um todo será, sempre que possível, chamada de *duplo semi-reboque (DSR)*. Pode ser também chamada de rodotrem leve.

CAPÍTULO 4

O *TWIN TRAILER TRUCK* E A LEGISLAÇÃO AMERICANA

A legalização do *twin trailer truck* é parte do próprio processo de evolução da legislação americana sobre pesos por eixo, dimensões e configurações de veículos de carga. O estímulo aos duplos semi-reboques contido na atual legislação do País, aprovada no final de 1982 e em vigor desde o início de 1983, insere-se num contexto de busca de maior uniformização dos veículos, contínuo aumento dos pesos e dimensões e de crescente intervenção do governo federal nas normas sobre veículos comerciais. Esse poder deriva principalmente da grande participação da União no financiamento da construção de rodovias.

4.1. Evolução da legislação estadual

Com base no TRB-SR 211 [1986, p. 19 e seguintes], montou-se o resumo abaixo sobre a evolução da legislação americana.

As primeiras leis estabelecendo restrições aos pesos dos veículos foram baixadas em 1913, no Maine, Massachusetts. No mesmo ano, a Pennsylvânia fixou restrições de largura. O último Estado a aprovar limites de peso foi Dakota do Norte, em 1993. Essas leis buscavam deter os severos danos causados aos pisos de terra e cascalho por rodas de borracha maciça e ferro dos caminhões pesados.

O envolvimento dos Estados na construção e manutenção das rodovias aumentou a partir de 1916, quando o programa de ajuda federal às rodovias delegou aos mesmos a responsabilidade de administrar os fundos rodoviários.

Os limites de comprimento, largura e altura foram adotados um pouco mais tarde do que os de peso. Por volta de 1929, porém, a maioria dos Estados já regulava tanto pesos quanto dimensões. Entre 1920 e 1930, foram estabelecidos limites diferenciados para veículos simples e combinados.

Embora variassem bastante de um Estado para outro, os limites de pesos e dimensões cresceram ao longo do tempo. O peso bruto médio por combinação, que era de 40.000 libras (18.160 kg) em 1927, aumentou para 48.000 libras (21.792 kg) em 1948, 72.000 libras (32.688 kg) em 1974 e 80.000 libras (36.320 kg) em 1982.

As restrições de comprimento foram mais rigorosas durante um certo período dos anos 30, mas o limite de 50 pés (15,2 m) em 1949 evoluiu para 55 pés (16,8 m) em 1964 e 65 pés (19,8 m) em 1982.

O limite de largura foi o item mais estável e mais uniforme, com muitos Estados convergindo para 96 polegadas (2,44 m), desde o mais remoto regulamento até 1982.

Embora o número de alterações nos limites estaduais tenha sido incontável, as variações de determinados limites de um Estado para outro foram se estreitando ao longo do tempo. Por exemplo, a variação entre o limite mais baixo e mais alto de peso para um cavalo mecânico tracionando semi-reboque, que era de 50.000 libras (22,7 t) em 1927, caiu para 38.000 libras (17,25 t) em 1949, 11.000 libras (5 t) em 1964 e 8.000 libras (3,63 t) em 1982.

Os limites de comprimento, no entanto, permaneceram bastante heterogêneos. A variação de 20 pés (entre 45 e 65 pés) existente em 1949 cresceu para 30 pés (entre 55 e 85 pés) em 1982. As restrições de comprimento foram mais rigorosas durante um certo período dos anos 30, mas o limite de 50 pés evoluiu para 65 pés em 1982. Em 1982, o comprimento de 65 pés, que já era permitido em pelo menos 36 Estados, passou a ser obrigatório.

4.2. Regulamentos federais

A Constituição americana reserva a maioria dos direitos de legislar sobre transporte aos Estados. A maioria das rodovias e ruas estão sob jurisdição dos governos estaduais e locais (cidades e condados). O governo federal pode intervir apenas para assegurar o livre comércio interestadual [WIDMER, 1990, p. 2].

Assim, durante muito anos, não houve nenhuma legislação federal sobre pesos, dimensões e configurações de veículos. No entanto, em 1956, o primeiro *Federal-Aid Highway Act* estabeleceu um sistema interestadual de rodovias financiado em 90% por recursos federais. A partir daí, o governo federal sentiu-se com o direito de legislar sobre os veículos rodoviários. A primeira intervenção ocorreu no próprio *Federal-Aid Highway Act* de 1956, que fixou em 18 000 libras (8,17 t) o limite de peso por eixo simples, em 32 000 libras (14,53 t) o limite de peso para conjuntos de dois eixos em tandem e em 73 280 libras (33,27 t) o limite de peso bruto total nas rodovias do sistema interestadual [EICHER, 1989, p. 117; WIDMER, 1990, p. 2; SR-211, p. 27; NOEL et al., 1986, p. 1; STOWERS, 1983, p.1, FREITAS, 1986, p. 151].

No entanto, em reconhecimento à autonomia dos Estados e às diferenças entre eles, não havia exigência de uniformidade. Uma cláusula de antiguidade (cláusula “avô”) congelava os limites superiores já estabelecidos por alguns Estados, mas permitia também, a

critério das autoridades estaduais, a manutenção de limites inferiores [WIDMER, 1990, p.1; TRB-SR-211, 1986 p. 27; NOEL et al., 1986, p. 1].

Em 1964, o *HRB-Highway Research Board* submeteu ao Congresso, através do Ministério do Comércio, o *House Document* 354, sugerindo o aumento dos limites de carga para 20 000 libras (9,08 t) nos eixos simples e 34 000 libras (15,44 t) nos eixos em tandem. Mas, provavelmente, a mais importante recomendação contida no documento foi a chamada *Tabela B* ou *Bridge Formula*, contendo pesos permitidos por grupos de eixos em função do espaçamento entre os eixos extremos e que aumentava o peso bruto total para 80 000 libras, isto é, cerca de 36,32 t [NOEL, 1986, p. 1].

Durante muitos anos, essas recomendações ficaram sem resposta. Porém, o embargo do petróleo dos anos 70 e a conseqüente crise de combustíveis, aliados à redução do limite máximo de velocidade para 55 mph (88 km/h) geraram pressões para aumentar a produtividade dos caminhões [EICHER, 1989, p. 117]. Assim, em 1975, o Congresso aprovou as *Federal-Aid Highway Amendments* incorporando à legislação federal não só a *Tabela B* como os limites sugeridos pelo HRB [TRB-SR 211, p. 28; NOEL, 1986, p. 2, FREITAS, 1986, p. 151]. Em 1976, o Congresso autorizou ônibus com largura de 102 polegadas, isto é, cerca de 2,60 m [TRB-SR 211, 1986, p. 28].

De novo, como em 1956, o *Federal Act* de 1975 não obrigava os Estados a elevarem seus limites, embora muitos deles tenham feito isso espontaneamente. Da mesma maneira, os Estados que quisessem puderam continuar usando suas próprias fórmulas para limitar o peso bruto [EICHER, 1987, p. 118].

Entre 1974 e 1978, o recrudescimento da crise do petróleo aumentou a pressão pela uniformidade nos limites de peso. Greves do setor de transportes em muitos Estados exigiram intervenção policial. Mesmo assim, em 1980, quinze Estados ainda não haviam aderido ao limite de 80 000 libras [EICHER, 1987, p.118].

Os obstáculos ao uso dos *twin trailer trucks* sofreram, nesse período, bem-sucedidas contestações judiciais. Decisões da Suprema Corte de 1977 e 1981 derrubaram restrições à operação desses veículos em Wisconsin e Iowa. A Corte entendeu que os regulamentos estaduais constituíam um substancial obstáculo ao comércio interestadual [TRB-SR 211, 1986, p. 53].

O início da década de oitenta foi marcado pela desregulamentação econômica do transporte rodoviário de carga e do transporte ferroviário. O aumento da competitividade e a eliminação de outras restrições impostas às operações interestaduais elevaram a competição e baixaram os fretes, exigindo reduções de custos. Isso levou alguns dos quinze Estados recalcitrantes a adotarem os limites federais [EICHER, 1987, p. 118]. No entanto, em 1980, seis Estados no Vale do Mississippi (Arkansas, Illinois, Indiana, Missouri, Mississippi e Tennessee) ainda formavam uma barreira ao transporte leste-oeste, denominada *midwestern and southern barrier* [WIDMER, 1990, p. 2; KOLLINS e SELVA, 1981, p. 194].

Quatro Estados restringiam o comprimento a 60 pés (18,29 m) e outros dois a 55 pés (16,76 m). Apenas 36 Estados permitiam a operação dos *doubles*. Dezesete Estados¹ mais o distrito de Colúmbia não permitiam o uso dos *twin trailer trucks* de 65 pés com duas carretas de 27 ou 28 pés. Esses Estados criavam uma espécie de segunda barreira ao tráfego, forçando os transportadores de cargas de baixa densidade (geralmente, de cargas fracionadas) a usar semi-reboques convencionais [KOLLINS e SELVA, 1981, p. 194].

Em compensação, um número muito grande de Estados autorizava limites muito maiores do que os federais. Essa diversidade de pesos e dimensões reduzia a eficiência do transporte interestadual. Um carreteiro que tivesse de cruzar vários Estados teria de escolher entre: a) trafegar com a configuração exigida pelo Estado onde as restrições fossem menores; b) evitar os Estados que tinham limites mais baixos; c) trafegar ilegalmente [STOWERS, 1983, p. 1].

4.3. *Transportation Assistance Acts de 1978 e 1982*

Para remover tais dificuldades, o *Surface Transportation Act*, de 1978, determinou ao Ministério dos Transportes a realização de estudos sobre a necessidade e a conveniência de uniformizar as dimensões e pesos máximos dos veículos em todo o País. Em 1981, o governo divulgou o estudo *An Investigation on Truck Size and Weight Limits*, que foi incorporado pelo *Surface Transportation Assistance Act*, proposto pelo governo no final de 1982 e aprovado pelo Congresso no início de 1983 [STOWERS, 1983, p. 1 e 12].

Essa lei ampliou o grau de intervenção federal na regulamentação dos pesos, dimensões e configurações dos veículos de carga. Pela primeira vez na História, deixou de prevalecer a cláusula de antiguidade. Os Estados foram obrigados a elevar os limites menores que os federais no sistema interestadual. Pela primeira vez também o financiamento a rodovias estaduais passou a ser condicionado à aceitação da legislação federal. O documento estabeleceu até as regras para fixar o número máximo de carretas por composição, item até então não sujeito ao controle federal [TRB-211, 1986, p. 48; WIDMER, 1990, p. 3, FREITAS, 1986, p. 151].

O STAA manteve, no entanto, o direito dos Estados de conservarem limites mais elevados de pesos e dimensões, isto é, a cláusula “avô” de 1956 continuou prevalecendo para limites superiores aos federais. Esta cláusula garante até hoje a circulação de veículo de grandes pesos e dimensões, como o *rocky mountain double*, ou as *triple trailer combinations* (até 32 m e 52 t). Outros veículos longos, como os *turnpike doubles* são autorizados por concessões “temporárias” [WIDMER, 1990, p.3] ou por legislações mais permissivas.

1 Alabama, Distrito de Columbia, Connecticut, Georgia, Maine, Massachusetts, Mississippi, New Jersey, New Hampshire, North Carolina, New York, Pennsylvania, Rhode Island, South Carolina, Tennessee, Vermont, Virginia e West Virginia [KOLLINS e SELVA, 1981, p. 194].

Em janeiro de 1988, havia onze Estados nos quais os veículos que trafegavam nas rodovias interestaduais podiam exceder os limites federais de peso bruto ou peso por eixo sem necessidade de autorização especial. Sete Estados permitiam peso por eixo superior ao limite federal de 20 000 libras. Oito Estados permitiam eixos em *tandem* com peso superior a 34 000 libras; e dois Estados permitiam peso bruto superior a 80 000 libras. O maior peso bruto (149 000 libras) vigorava em Michigan. O *rocky mountain double* era permitido em treze Estados, o *turnpike double* em nove e o *triple* em dez [TRB-SR 225, 1990, p. 45].

Em junho de 1991, o *rocky mountain double* era permitido nas rodovias públicas de quatorze Estados e em rodovias a pedágio de seis outros; o *turnpike* operava nas vias públicas de onze Estados e nas rodovias a pedágio de seis outros; e o *triple* estava autorizado nas vias comuns de onze Estados e nas estradas a pedágio de outros três² [Western Highway Institute, 1992, p. 6].

São as seguintes as principais determinações do STAA-82, legislação ainda em vigor:

Twin Trailer Truck - Os Estados foram obrigados a permitir o uso desse tipo de combinação nas rodovias interestaduais e numa rede de rodovias principais estabelecida pelo Departamento dos Transportes-DOT. Até então, quatorze Estados³ restringiam o uso dos *twins* [TRB-SR 211, 1986, p. 48 a 50] Esses veículos já eram operados nos EUA desde a década de cinquenta, mas seu uso estava restrito à região Oeste [SKINNER et al., 1986, p. 128].

Limites de peso - Os Estados foram obrigados a permitir no sistema interestadual os limites federais: 20 000 libras (9,08 t) para eixos simples, 34 000 libras (15,43 t) para um conjunto de dois eixos em *tandem* e 80 000 libras (36,32 t) de pbt para veículos com mais de quatro eixos. Esse último limite ficou sujeito às restrições de espaçamento impostas pela *Fórmula B*. Os Estados foram proibidos de aprovar novas legislações estabelecendo limites superiores aos federais. Mas os limites maiores já existentes continuaram em vigor. Os Estados não podem também negar razoável acesso dos sistemas interestaduais até terminais e instalações para alimentação e descanso dos motoristas, reabastecimento e manutenção dos veículos [TRB-SR 211, 1986, p. 48 a 50].

Comprimentos - Os Estados foram proibidos de limitar o comprimento das carretas a valores menores que 48 pés (14,63 m) para um semi-reboque convencional e 28 pés (8,53 m) para composições com duas carretas, nas rodovias interestaduais e em determinadas rodovias estaduais construídas com recursos federais e que façam parte do sistema principal estabelecido pelo Ministério dos Transportes (rodovias designadas). Antes, não havia nenhum limite federal de comprimento e os semi-reboques de 48 pés eram efetivamente impedidos de circular em 35 Estados. Os Estados foram proibidos também de legislar sobre o comprimento total das combinações trator mais semi-reboque e trator mais duas carretas

² Mais detalhes no capítulo 9.

³ Illinois, Missouri, North Dakota, Kentucky, Michigan, Maryland, Louisiana, Minnesota, Wisconsin, Florida, Iowa, New York, Mississippi e Tennessee [TRB-SR 211, 1986, p. 24].

nas rodovias do sistema designado, o que tornou sem efeito os limites estaduais [TRB-SR 211, 1986, p. 48 a 50].

Limites anteriores à lei - Os Estados foram proibidos de reduzir qualquer dimensão que estivesse em vigor antes de 1983 [TRB-SR 211, p. 48 a 50].

Rede designada - O Departamento dos Transportes-DOT foi encarregado de estabelecer a rede rodoviária adicional ao sistema interestadual onde seriam permitidos semi-reboques de 48 pés. os *twins* e veículos mais largos. Em 1989, havia uma rede designada para os grandes caminhões constituída por 68 700 km no sistema interestadual; e por mais da metade dos 412 000 km do sistema federal, não interestadual de ajuda ao sistema primário. A rede designada era de aproximadamente 291 000 km. Os 68 700 km de rodovias federais constituíam apenas 1% da rede rodoviária⁴, mas suportavam 20% do tráfego total [EICHER, 1989, p.120, 117 e 118].

Largura dos veículos - Os Estados foram obrigados a permitir veículos com largura de 102 polegadas (2,60 m) nas rodovias interestaduais e nas estaduais financiadas pelo governo federal [TRB-SR 211, 1986, p. 48 a 50].

Outras alterações - Observa-se ainda que, embora o STAA tenha preservado a cláusula de antiguidade relativa a limites superiores aos federais, o *tandem* triplo acabou banido da legislação porque nunca foi usado por nenhum Estado americano [WIDMER, 1990, p. 3].

O STAA não exige freios ABS para os caminhões, possivelmente porque doze anos atrás esse componente ainda não estava comercialmente disponível. O regulamento exige relação potência/peso compatível com a *AASHTO policy*, ou seja, limite de 300 libras/hp (cerca de 7,4 hp/t). Não fixa também limites máximos de pressão para pneus, diferenciação de limites de peso por tipo de suspensão (mecânica ou pneumática) e nem limites de raios de giro para manobras de baixa velocidade [WIDMER, 1990, p. 3].

4.4. Análise e resumo

1. A legalização do *twin trailer truck* é parte do próprio processo de evolução da legislação americana sobre pesos por eixo, dimensões e configurações de veículos de carga. O estímulo aos duplos semi-reboques contido na atual legislação do País, aprovada no final de 1982 e em vigor desde o início de 1983, insere-se num contexto de busca de maior uniformização dos veículos, crescente aumento dos pesos e dimensões e de crescente intervenção do governo federal nas normas sobre veículos comerciais. Esse poder deriva principalmente da grande participação da União no financiamento da construção de rodovias.
2. A primeira intervenção ocorreu através do *Federal-Aid Highway Act* de 1956, que fixou em 18 000 libras (8,17 t) o limite de peso por eixo simples, 32 000 libras (14,53 t) o

⁴ Isso significa uma rede rodoviária total (pavimentada e não pavimentada) de 6 870 000 km. Segundo ALMEIDA [1994, p. 55], os EUA têm atualmente uma rede pavimentada total de 3,6 milhões de km.

limite de peso para conjuntos de dois eixos em tandem e em 73 280 libras (33,27 t) o limite de peso bruto total nas rodovias do sistema interestadual. Uma cláusula de antiguidade (cláusula “avô”) congelava os limites superiores já estabelecidos por alguns Estados, mas permitia também, a critério das autoridades estaduais, a manutenção de limites inferiores.

3. O início da década de oitenta foi marcado pela desregulamentação econômica do transporte rodoviário de carga e do transporte ferroviário. O aumento da competitividade e a eliminação de outras restrições impostas às operações interestaduais elevaram a competição e baixaram os fretes, exigindo reduções de custos. Isso levou alguns dos quinze Estados recalcitrantes a adotarem os limites federais.
4. No entanto, em 1980, seis Estados no Vale do Mississippi ainda formavam uma barreira ao transporte leste-oeste, denominada *midwestern and southern barrier*.
5. Para remover esses obstáculos, o STAA-82 obrigou os Estados a permitirem a circulação dos *twins* com duas carretas de 28 pés de comprimento e 102 polegadas de largura nas rodovias interestaduais e numa rede de rodovias estaduais (rede designada) estabelecida pelo Departamento de Transportes. Os Estados foram obrigados a permitir no sistema interestadual os limites federais: 20 000 libras (9,08 t) para eixos simples, 34 000 libras (15,43 t) para um conjunto de dois eixos em *tandem* e 80 000 libras (36,32 t) de pbtc para veículos com mais de quatro eixos.
6. Importante observar que, ao contrário da legislação brasileira, o STAA-82 limita-se a fixar o comprimento máximo das carretas, deixando livre o comprimento total das configurações.

CAPÍTULO 5

DIRIGIBILIDADE E ESTABILIDADE

As características de dirigibilidade (*handling*¹) e de estabilidade ou convergência² dos grandes caminhões desempenham importante papel na segurança das suas operações. Se um caminhão não responde rapidamente a freadas de emergência, ou se não é capaz de obedecer aos comandos de trajetória imprimidos pelo motorista, é razoável admitir que este caminhão está mais propenso a se envolver em acidentes do que outros veículos com melhor desempenho.

Assim, os estudos de dirigibilidade e de estabilidade representam um importante suplemento para a avaliação da segurança e dos prováveis impactos da configuração sobre o tráfego³.

Tais estudos são particularmente úteis para identificar fatores relacionados aos veículos que podem contribuir para os acidentes de tráfego e para prever as consequências em relação à segurança de uma nova classe ou configuração de veículos comerciais.

Em geral, qualquer combinação de veículos terá características de dirigibilidade e estabilidade piores do que um veículo mais simples e menor. As características relacionadas com a segurança são fortemente influenciadas pelo peso do veículo e pelo número de articulações.

1 De acordo com a SAE J 1451, dirigibilidade é a propriedade de respostas como são percebidas e experimentadas pelo motorista quando controla o veículo

2 De acordo com a SAE J 1451, convergência é a propriedade do veículo que causa o seu retorno ao equilíbrio, quando perturbado.

3 Ver Capítulo 6.

/ Veículos combinados com mais de uma articulação estão sujeitos a vários fenômenos que afetam sua dirigibilidade. A carreta traseira pode responder ao esterçamento rápido com uma oscilação exagerada, da qual pode resultar o tombamento da última unidade. /

/ Demoras provocadas pelas articulações atenuam e retardam, em certas situações, a percepção dos movimentos da traseira do veículo, diminuindo a capacidade do motorista de reagir adequadamente em situações críticas. Esses veículos tendem a apresentar uma resposta levemente instável (isto, é ficam difíceis de controlar devido à crescente sensibilidade ao esterçamento) quando trafegam com carga completa em altas velocidades. Finalmente, carretas e veículos articulados podem oscilar em resposta a pequenas perturbações mesmo quando trafegam num trecho reto. Esse movimento normalmente não compromete o controle do veículo, mas pode perturbar o motorista ou outros motoristas [TRB-SR 211, 1986, p. 117/118]. /

/ Grandes caminhões são incapazes de responder à ação dos freios tão rapidamente quanto outros veículos em situações de emergência. Além disso, veículos articulados são mais propensos a sofrerem instabilidades durante frenagens do que os não articulados. Nas curvas, o trajeto das rodas do veículo rebocado tende a se afastar mais do trajeto das rodas direcionais do que o dos veículos comuns. O fenômeno é conhecido como arraste, sobrelargura ou desvio de trajetória (*offtracking*). Finalmente, grandes veículos são mais propensos a tombar nas curvas. Este risco pode ser exacerbado por centros de gravidade altos, velocidade excessiva e curvas fechadas [TRB-SR 211, 1986, p. 117/118]. /

Todos o fenômenos acima são, em maior ou menor escala, influenciados pelo tipo de engate (*dolly*) utilizado pelo veículo combinado.

5.1. Dirigibilidade dos veículos combinados

/ Como já se viu, a dirigibilidade dos veículos combinados envolve fenômenos como a resposta ao esterçamento, o balanço oscilatório, o retardamento da percepção e da reação do motorista, a estabilidade direcional etc. /

5.1.1. Resposta ao esterçamento

/ Pesquisas conduzidas no *Transportation Research Institute* da *University of Michigan* e reportadas por WINKLER [1988, p. 2] mostram que o DSR com *dolly* tipo A tem menor margem de estabilidade a velocidades usuais na estrada do que o SRC. Essa menor margem de estabilidade praticamente não afeta o trator e o primeiro semi-reboque; mas, em manobras de emergência, a segunda carreta pode separar-se da composição, devido à amplificação exagerada dos movimentos direcionais do cavalo mecânico (amplificação traseira), responsável pelo aumento da aceleração lateral nas unidades traseiras. /

/A maior consequência dessa amplificação para a segurança é o tombamento prematuro da segunda carreta. Outra consequência relaciona-se com a invasão do acostamento ou da pista vizinha pela segunda carreta. A amplificação traseira e a resultante propensão ao tombamento é geralmente reconhecida como a mais importante propriedade que distingue e degrada o desempenho dinâmico dos DSRs em relação aos SRCs [WINKLER, 1988, p. 2 e 3].

/Há fortes evidências de que os *doubles* têm um problema de tombamento em acidentes com danos materiais e que tal problema está ligado a uma deficiência de segurança denominada *amplificação traseira* [CASTERN, 1987, p. 17].

/A redução do número de pontos de articulação, o aumento da base de rodas, o encurtamento da distância entre o centro de gravidade do veículo tracionado e o pino-rei, o aumento da rigidez dos pneus em resposta a forças laterais, a redução do peso bruto do veículo e a redução do balanço traseiro da unidade tracionada contribuem para diminuir a amplificação. Embora não haja evidências conclusivas de uma diferença global nas taxas de acidentes entre unidades com carretas simples e duplas, os resultados são amenizados pelo fato de que os *doubles* quase sempre são operados num ambiente de maior segurança⁴ [TRB-SR 227, 1990, p. 102/103].

/Tanto testes de campo quanto simulações em computador mostram que os duplos semi-reboques se comportam de maneira muito diferente das composições convencionais nas suas respostas a movimentos bruscos da direção. A grande amplificação traseira pode explicar a elevada frequência de capotamento da última unidade tracionada nos acidentes com os duplos semi-reboques e é provavelmente o mais importante fator físico que diminui a segurança dessa configuração em relação às composições cavalo mais reboque, pois ambas respondem praticamente da mesma maneira a esforços direcionais graduais [TRB-SR 211, p. 120].

Assim, o aprimoramento das características de condução dos veículos pesados inclui a redução ao mínimo do tempo de resposta das unidades tracionadas, rápido amortecimento das oscilações induzidas pela unidade tratora e pequena ou nenhuma amplificação da aceleração lateral.

JINDRA [1965, p. 378 a 394] empregou um modelo linear simplificado num estudo teórico sobre as características de dirigibilidade de um *twin trailer truck* de 70 000 libras (31 780 kg) e cinco eixos. Admitiu que os veículos trafegavam a velocidade constante e estavam sujeitos a um esterçamento escalonado, para simular a resposta dinâmica lateral.

O estudo foi ampliado e refinado por HAZEMOTO [1973], MALLIKARJUNARAO e FANCHER [1978]. Em geral, a hipótese de linearidade foi mantida e foram realizados testes limitados para calibrar e validar o modelo. Entre as manobras que foram pesquisadas estavam as mudanças simples e duplas de faixas e outras manobras para evitar colisões.

⁴ Ver capítulo 7.

/Os estudos constataram que os seguintes fatores podem contribuir para melhorar as características de resposta:

1. Redução do número de unidades tracionadas⁵;
2. Aumento do comprimento da carreta ou carretas⁶;
3. Acoplamento de *dollies* mais rígidos⁷ (tipo B ou C);
4. Aumento da rigidez dos ombros do pneu⁸;
5. Colocação de cargas mais leves ou de carretas vazias na traseira⁹, assim como eliminação da sobrecarga na carreta traseira¹⁰;
6. Redução na velocidade do veículo¹¹; e
7. Cargas arrumadas de maneira que o centro de gravidade fique localizado na mesma posição para todas as carretas do conjunto./

Os possíveis efeitos das seguintes variáveis de projeto do veículo se anulam ou são insignificantes:

- Comprimento da viga do *dolly*;
- Localização da quinta roda do cavalo em relação ao eixo trator; e
- Distância entre o eixo e o ponto de articulação da carreta posterior¹².

ERVIN et al. [1983] realizaram comparações diretas entre o comportamento de um semi-reboque de 45 pés e um duplo semi-reboque com unidades de 27 pés em mudanças de faixas a 55 mph. As taxas de amplificação encontradas foram de 1,0 para semi-reboques convencionais e 2,5 para os DSRs.

A máxima largura de um objeto colocado na rodovia a uma distância especificada de que o motorista podia se desviar sem capotar o veículo foi de 8 pés para a configuração convencional e de apenas 3 pés para os DSRs. Esses resultados indicam que a amplificação é uma questão fundamental na segurança de composições com mais de uma carreta. Existe ligação entre os padrões de acidentes com DSRs (grande número de acidentes onde só a última carreta tomba) e a amplificação dos movimentos da carreta traseira. A amplificação traseira intensifica a aceração lateral, levando essa unidade a atingir o limiar de tombamento antes das outras [ERVIN et al., 1983].

Em resumo, caminhões de diferentes configurações, provavelmente não respondem de maneira muito diferente à aplicação gradual de mudanças na direção. No entanto,

5 Fator também apontado pelo TRB SR 227 [1990].

6 O TRB SR 227 refere-se à base de rodas.

7 Fator não apontado pelo TRB SR 227 [1990].

8 Fator também apontado pelo TRB SR 227 [1990].

9 A carreta vazia tem o grave inconveniente de reduzir eficiência da frenagem (ver mais adiante).

10 O TRB SR 227 [1990] refere-se à redução do peso bruto.

11 Fator não apontado pelo TRB SR 227 [1990].

12 Fator não apontado pelo TRB SR 227 [1990].

quando as manobras precisam ser repentinas, constata-se uma resposta pior aos transientes dos DSRs em comparação com os SRCs.

5.1.2. Redução das cargas por eixo

Com base na legislação atualmente em vigor¹³, a configuração de um duplo semi-reboque nacional sofreria a influência das seguintes variáveis:

- / Número de eixos do cavalo: dois eixos (16 t) ou de três eixos (23 t);
- Distância entre o eixo da primeira carreta e o eixo do dolly inferior a 2,40 m (*dolly* curto), o que limita a carga do conjunto a 15 t; ou superior a 2,40 m (*dolly* longo), o que eleva a carga do conjunto pra 17 t;

Teoricamente possíveis, são quatro combinações entre os dois tipos de cavalos e as distâncias entre os eixos da primeira carreta e do dolly:

1. Cavalo de dois eixos mais *dolly* curto¹⁴ configuração que pode transportar 41 t (6 t + 10 t + 15 t + 10 t) mediante AET¹⁵.
2. Cavalo de dois eixos mais *dolly* longo¹⁶, que pode transportar até 46 t (6 t + 10 t + 10 t + 10 t + 10 t)¹⁷ mediante AET¹⁸.
3. Cavalo de três eixos mais *dolly* curto que pode transportar 48 t (6 t + 17 t + 15 t + 10 t), mediante AET¹⁹;
4. Cavalo de três eixos mais *dolly* longo, que pode transportar até 53 t (6 t + 17 t + 10 t + 10 t + 10 t), mediante AET²⁰.

Legalmente, são admissíveis, portanto, configurações com capacidade para até 41/46/48/53 t de peso bruto total combinado.

Conforme já se registrou anteriormente, as características de resposta ao esterçamento dos DSRs podem ser melhoradas, entre outras providências, através da colocação de cargas mais leves na última carreta²¹. Como o limite de pbtc nos EUA menor do que a soma dos limites de carga por eixo, os operadores americanos costumam atender a essa recomendação reduzindo significativamente as cargas do eixo da primeira carreta em relação ao eixo trator de cavalo e dos eixos do *dolly* e das segunda carreta em relação aos dois da frente. O TRB-SR 211 [1986 p.359], por exemplo, adota valores de

13 Ver capítulo 11.

14 Entenda-se por distância curta uma distância inferior a 2,40 m.

15 Devido à existência de mais de uma articulação e também devido ao excesso de comprimento, se o veículo tiver mais do que 19,80 m.

16 Entenda-se por distância longa uma distância superior a 2,40 m.

17 Adotando-se 45 t, não se excede o pbtc normal previsto pela legislação.

18 Devido à existência de mais de uma articulação e também devido ao excesso de comprimento, se o veículo tiver mais do que 19,80 m.

19 Devido à existência de mais de uma articulação, ao excesso de pbtc e também ao excesso de comprimento, se o veículo tiver mais do que 19,80m.

20 Devido à existência de mais de uma articulação, ao excesso de pbtc e também ao excesso de comprimentos, se o veículo tiver mais de 19,80 m.

21 Ver o bloco anterior.

9,8/17,2/14,8/13,3/10,9 kips para os eixos a partir do dianteiro (peso bruto total combinado de 66 kips), o que resulta numa relação 0,57/1,00/0,86/0,77/0,63²² (tabela 5-1).

Obedecidas essas relações e respeitado o limite máximo de 10 t/eixo, o peso bruto total do DSR com distância entre o terceiro e o quarto eixos superior a 2,40 m cai para 38,3 t (cerca de 15% de redução). Se essa distância for inferior a 2,40 m, será necessário reduzir o peso bruto para apenas 35,5 t (redução de 21,2%) para manter a mesma proporcionalidade.

Para atingir o peso bruto de 45 t, seria necessário elevar o peso admissível no eixo de tração para 12 t./Na Suécia, por exemplo, onde as condições de aderência são ruins na maior parte do ano, a legislação exemplo, autoriza 12 t no eixo simples de tração e 10 t nos demais eixos. Isso eleva a força de aderência (produto do peso no eixo trator pelo coeficiente de atrito pneu-pavimento), reduzindo a o deslizamento (patinação) das rodas. Em contrapartida, causa maior desgaste no pavimento/. Não há informações disponíveis sobre as relações de redução para DSRs de seis eixos.

Se o comprimento total não ultrapassar os 19,80 m, o frotista ficará restrito a carretas muito curtas (na faixa de 6,5²³ a 7,8 m), que embora assegurem maior flexibilidade operacional (especialmente, quando as cargas se originam de ou se destinam a terminais diferentes) e reduzam tempos de processamentos de produtos mais densos, não trazem nenhum ganho de cubagem. Pelo contrário, podem até acarretar reduções em relação aos semi-reboques convencionais mais longos, cujos comprimentos, em alguns casos, até ultrapassam os 15 m²⁴. Além disso, apresentam teoricamente condições de estabilidade e controle piores do que as dos SRCs mais longos.

TABELA 5-1 DISTRIBUIÇÃO DAS CARGAS NO DSR DE 5 EIXOS

MODELO	UNID.	DEE (m)	DIANT	TRAT.	SR-1	DOLLY	SR-2	TOTAL
Twin americano	kips		9,8	17,2	14,8	13,3	10,9	66,0
Peso relativo	-		0,57	1,00	0,86	0,77	0,63	3,83
DSR (Lim. legal)	t	<2,40	6,0	10,0	15,0		10,0	41,0
DSR (C/ redução)	t	<2,40	5,5	9,2	15,0		5,8	35,5
DSR (Lim. legal)	t	>2,40	6,0	10,0	10,0	10,0	9,0	45,0
DSR (C/ redução)	t	>2,40	5,7	10,0	8,6	7,7	6,3	38,3
DSR (45 t c/red.)	t	>2,40	6,0	12,0	10,0	9,3	7,7	45,0

22 O peso bruto total equivale a 3,83 vezes o peso do eixo mais pesado.

23 Veja o caso da Real Cargas no capítulo 10.

24 Ver no anexo A e no capítulo 10 nesta dissertação o Caso da Partezani, que usa carretas de 15,10 m, e propostas de carretas de 15,70 m da Rodoviária.

A utilização de um cavalo de três eixos elevaria o peso bruto total para 53t. Esse pbtc, embora desperte o interesse de algumas transportadoras de cargas de maior densidade²⁵, torna a composição pouco adequada para o transporte de cargas de menor densidade. Já a utilização de *dollies* mais curtos, além de não ter sido encontrada na prática, reduziria a 7,5 t o peso sobre o *dolly*, deixando bastante ociosa a última carreta. Como a redução das cargas nos eixos não faz parte da legislação nem da cultura brasileira de transportes, o mais provável é que não seja praticada, o que acabaria afetando a segurança. O mesmo poderá acontecer, porém, em escala menor nos DSRs de *dolly* mais longo

Por isso, este trabalho concentra sua atenção numa configuração básica, semelhante às duas que foram encontradas na prática²⁶, ambas com cinco eixos e mais de 2,40 m de distância entre o eixo traseiro da primeira carreta e o eixo do *dolly*. Serão admitidos também dois comprimentos básicos: a) de 19,80 m, quando o objetivo do DSR for apenas logístico, isto é, o de substituir dois caminhões trucados convencionais²⁷; b) superior a 19,80 m, quando o objetivo for disputar com o conjunto Romeu-e-Julietta, semi-reboques longos e truques de 9 m a possível substituição de semi-reboques comuns²⁸ ou de truques de até 8 m.

5.1.3. Estabilidade direcional

A estabilidade direcional está relacionada com a melhor ou pior qualidade da resposta do veículo ao esterçamento nas curvas. Grandes veículos tendem a apresentar respostas ligeiramente instáveis em curvas. Quando trafega com carga total e a grandes velocidades, o veículo torna-se difícil de controlar devido ao aumento da sensibilidade ao esterçamento. Isto é, pequenos estercimentos adicionais podem provocar respostas extremamente desproporcionais. Se o esterçamento é suficientemente grande, o motorista não será capaz de evitar que o veículo rodopie, dobre-se, saia da pista ou tombe. Quando um veículo entra numa curva, a força centrífuga causa um crescimento nas cargas sobre os pneus externos e uma diminuição nas cargas sobre os pneus internos. Como a sensibilidade dos pneus às cargas verticais não é linear, essa transferência acaba reduzindo a capacidade de cada eixo de absorver as forças laterais sem derrapar [TRB-SR 211, 1986, p. 121,122 e 281].

Devido a peculiaridades na distribuição da rigidez entre os eixos dianteiro e traseiro, determinadas pelo projeto do veículo, o efeito da transferência é maior no eixo de um

25 Ver o depoimento da ITD Transportes no capítulo 10.

26 Projeto Rodoviária para o Real Expresso e projeto FNV-Fruehauf (atual Tectran), usado pela Sul Fluminense (veja capítulos 10, sobre frotistas, e anexo A, sobre fabricantes de implementos).

27 Neste caso, os custos serão calculados por tonelada transportada.

28 Neste caso, os custos serão calculados por metro cúbico transportado.

caminhão rígido do que no de um cavalo mecânico. A estabilidade direcional é afetada por diversos fatores, como a velocidade do veículo, superelevação e raio de curva, atrito disponível entre pneu e pavimento e peculiaridades da suspensão e dos pneus dos veículos. Como a margem de estabilidade direcional é menor em veículos de menores distâncias entre eixos, como é o caso dos duplos semi-reboques, eles podem revelar um potencial levemente maior para esse tipo de instabilidade [TRB-SR-211, 1986, p. 122].

A estabilidade direcional depende fundamentalmente das características de esterçamento do cavalo. Como essas não estão diretamente relacionadas com o número, comprimento e largura das unidades tratoras, a margem de estabilidade direcional dos DSRs, embora ligeiramente menor, não chega a ser substancialmente diferente da dos tratores mais semi-reboques de 45 pés [TRB-SR 211, 1986, p. 281].

5.1.4. Balanço oscilatório

Balanço oscilatório (pêndulo) é uma condição na qual as unidades tracionadas de um veículo combinado acusam uma oscilação lateral de pequena amplitude. Normalmente de natureza transitória, o balanço oscilatório pode ser provocado por pequenos ajustes na direção e ampliado por outros fatores, como vento lateral e irregularidades do pavimento.

Alguns estudos da década de 1970 [PETERSON et al, 1970; MERCER et al, 1983; Senate Document 14, 1970] mostram que o movimento oscilatório dos duplos semi-reboques é de pequena amplitude e é pouco provável que afete o risco de acidentes.

Fatores como a inexperiência do motorista, falta de treinamento e fadiga física e mental contribuem para a ocorrência do balanço oscilatório. Outros fatores são folga na articulação, deficiência de lubrificação da quinta-roda, mau alinhamento na suspensão e eixos, uso de pneus radiais com a banda de rodagem muito desgastada, entre-eixos curtos, carreta traseira vazia ou muito mais carregada do que a da frente e altas velocidades [MIKULCIK, 1973, apud TRB-SR 211, 1986].

Embora os DSRs tenham maior propensão a apresentar balanço oscilatório do que os semi-reboques convencionais, esse efeito não é considerado um risco significativo para a segurança dos duplos semi-reboques [TRB-SR 211, p. 280].

O movimento oscilatório pode ser neutralizado pelo treinamento do motorista, ausência de folgas no acoplamento, carregamento apropriado das carretas e adequada manutenção do equipamento.

O balanço oscilatório não foi identificado como uma ameaça potencial à segurança do transporte para composições longas ou veículos mais largos. Constitui perigo apenas na medida em que outros motoristas possam executar manobras anômalas para se afastar de uma composição que apresente essa condição.

5.1.5. Percepção e reação

As forças que atuam sobre os motoristas de configurações simples refletem basicamente as que atuam sobre o veículo. Por isso, o motorista não tem dificuldades para perceber rapidamente a iminência de instabilidades, como tombamentos e derrapagens, e para tomar as medidas corretivas necessárias. Mas, em veículos combinados, as articulações retardam e atenuam a percepção do motorista em relação ao movimento da última carreta, reduzindo sua capacidade reagir pronta e efetivamente diante de situações críticas.

A diferença de comportamento entre unidades simples e veículos combinados deriva de duas causas [TRB-SR-211, p.275]:

- Respostas defasadas das unidades tracionadas ao comando do motorista;
- Perda da capacidade de transmitir forças devido à articulação.

O problema é particularmente agudo nas combinações múltiplas, especialmente por causa do aumento do número de pontos de articulação e o uso de engates simples (*dollies* do tipo A), que são ineficazes na tarefa de transmitir efetivamente os momentos de esterçamento de uma unidade para outra.

Embora a deficiência de percepção seja um assunto ainda pouco pesquisado, problemas de controle de veículos longos combinados já foram identificados. BILLING [1982], citado pelo TRB-SR 211 [1986, p.275], informa que, numa série de testes de tombamento de duplos semi-reboques, os motoristas relataram que não perceberam a iminência do perigo até que pudessem observar o acidente pelo retrovisor.

Com base em outra série de testes, KEMP e CHINN [1978], sugeriram a instalação no assento do motorista de um alarme de tombamento ou de suspensão como maneira de alertar o condutor para a iminência de tombamento.

5.1.6. Influência da configuração na estabilidade

Tudo o que foi dito sobre estabilidade e controle neste capítulo refere-se ao *dolly* A, isto é, com lança de tração simples²⁹. A utilização de outros tipos de *dollies* altera a locomoção e a estabilidade dos duplos semi-reboques. O TRB-SR-211 [1986, p. 282] assegura que o *dolly* tipo C (isto é, independente e com lança de tração dupla) elimina o ponto de articulação entre as carretas e reduz a amplificação de movimentos induzidas pelas unidades da frente, a probabilidade de tombamento da última carreta e o balanço oscilatório. Pesquisas do UMTRI-University of Michigan Transportation Institute Research concluíram, depois de testar inúmeras combinações de veículos usadas no Canadá, que, quando ocorre o tombamento de composições utilizando o *dolly* A, normalmente se perde apenas a última unidade. No entanto, embora os tombamentos de

29 Ver a classificação dos *dollies* no capítulo 3.

composições com *dolly B* sejam menos freqüentes, quando chegam a ocorrer, perde-se toda a composição [PEARSON, 1988, p. 133].

Simulações e testes realizados pelo UMTRI e descritos por WINKLER [1988, p. 4 e seguintes] apontam as seguintes vantagens do *C-dolly*:

1. A redução de um grau de liberdade de oscilação no ponto de articulação resulta em maior segurança, graças à menor amplificação;
2. Menos acidentes significam menores custos operacionais;
3. Possibilidade de operar em rodovias americanas secundárias, graças à maior segurança demonstrada;
4. Pode dar marcha-a-ré;
5. Algumas províncias do Canadá autorizam maior carga por eixo para esta configuração.

Existem, no entanto, desvantagens [WINKLER et al., 1988]:

1. O *C-dolly* custa cerca de US\$ 3 000,00 a mais do que o *A-dolly*;
2. Cada *C-dolly* adquirido exige a modificação de pelo menos um semi-reboque;
3. O custo de manutenção do *C-dolly* é cerca de duas vezes maior do que o do *A-dolly*;
4. O desgaste de pneus é de 10% a 15% maior;
5. Pesa de 450 kg a 700 kg a mais do que o *A-dolly*;
6. É mais difícil de engatar.

O uso do *C-dolly*, embora ainda experimental, tem sido maior no Canadá, especialmente em *doubles* que transportam petróleo, concreto e grãos. No Canadá, essa configuração, por ser mais segura, está autorizada a transportar mais carga. Nos Estados Unidos, onde a maior parte das pesquisas foi feita com os *doubles*, o acoplamento do *dolly C* em *triples* encontra-se em fase inicial. Entretanto, devido ao elevado custo operacional e ao elevado peso, seu uso não se popularizou, especialmente porque não existem os mesmos incentivos que no Canadá. Na Austrália e na Nova Zelândia, o uso de veículos combinados, incluindo *dollies* não convencionais é mais comum [RUSSO, 1995 p. 6].

O estudo do UMTRI identificou quatro modelos inovadores, que podem eliminar as deficiências dos engates atuais:

1. **Dolly trapezoidal assimétrico** - É um *dolly* tipo *A* que usa barras de tração articuladas e não paralelas, que definem o centro instantâneo (IC) de rotação, situado à frente do *dolly*. Aumenta a sobrelargura e baixa a velocidade. Poder ser equipado com mecanismo deslizante para se ajustar à velocidade do tráfego.
2. **Dolly articulado** - É um *dolly* tipo *A* com um braço telescópico afixado entre a traseira da primeira carreta e a segunda, para garantir uma restrição adicional ao sistema.
3. **Dolly C³⁰ autodirecional** - Elimina a articulação e mantém solidárias ambas as carretas, aumentando a resistência ao tombamento. Um grande deslocamento do pino-

30 O trabalho original usa *B-dolly*. A expressão foi alterada para *C-dolly* para manter a coerência com a terminologia adotada neste trabalho.

rei em relação ao eixo permite um certo grau de autodirecionamento em manobras a baixa velocidade, reduzindo substancialmente o arraste dos pneus e fadiga da barra de tração.

4. **Dolly C com controle de esterçamento** - Também chamado de *CSB-dolly* (*controlled-steering C-Dolly*), combina as virtudes dos *dollies A* e *B*. A barra dupla de tração elimina a articulação no pino de engate e fortalece o engate. O braço direcional, afixado na segunda carreta, melhora o comportamento (sobrelargura) a baixas velocidades, com controle efetivo do esterçamento.

Após simulações de mudanças de faixa a 55 mph, WINKLER [1988] concluiu que todos os quatro *dollies* aperfeiçoados apresentaram melhor desempenho do que o tradicional *dolly A*, especialmente para altas frequências (veja figura 5-1)

FIGURA 5-1 ^[31]
ESTABILIDADE DOS DOLLIES APERFEIÇOADOS

FONTE: WINKLER [1988 p. 14]

Testes dinâmicos de tombamento durante mudanças emergenciais de faixa constataram que os *dollies* aperfeiçoados asseguram também significativo aumento no limiar de tombamento em relação ao *dolly A* (figura 5-2).

31 O *A Train* corresponde ao *dolly A*. *CSB dolly* significa *Controlled Steering B-Dolly*, que corresponde na terminologia desta dissertação ao um *dolly C* com controle direcional.

FIGURA 5-2
LIMIARES DE TOMBAMENTO DE DOLLIES

Constatou-se ainda que, a baixas velocidades, a sobre largura é igual a ou ligeiramente inferior à do *A-dolly*. Com exceção do *dolly* trapezoidal com o centro instantâneo avançado, todos os demais mostraram desempenho melhor do que o SRC. As conclusões indicam que os *dollies C* são dinamicamente superiores aos *dollies A* e a outros tipos de *dollies* inovadores devido ao tipo de engate com a unidade da frente e a possibilidade de esterçar as rodas para garantir um trajeto mais fiel da última unidade [WINKLER, 1988, p. 18].

5.2. Distância de frenagem e controle

Os dois mais importantes componentes para avaliar o desempenho dos freios são a distância de frenagem e a controlabilidade do veículo. A distância de frenagem é a distância entre o ponto de aplicação dos freios e o ponto de estacionamento final do veículo. Já a controlabilidade é a capacidade do veículo de permitir ao motorista tanto manter o controle direcional, quanto evitar instabilidades como o efeito “L” (dobramento do veículo ou “canivete”) e oscilações das carretas durante a frenagem.

A distância de frenagem sofre influência de muitos fatores, como atrito entre o pneu e pavimento, a distribuição de carga por eixo e as características do sistema de freios. A

fórmula tradicional de cálculo da distância de frenagem³² para corpos rígidos não se aplica aos caminhões porque não considera aspectos como bloqueio prematuro das rodas e transferência de peso entre os eixos durante o processo. Cálculos mais sofisticados, levando em conta equações de equilíbrio dinâmico das forças envolvidas conduzem a maiores distâncias de frenagem [HUTCHINSON e PARKER, 1988].

Idealmente, o sistema de freios deve transmitir torque adequado a cada pneu, de maneira a evitar o bloqueio das rodas. Como princípio geral, a frenagem deve começar pelo último eixo e prosseguir nessa ordem até o eixo direcional, para melhorar a resposta direcional. Na liberação dos freios, deve-se seguir a ordem inversa. O lapso de tempo decorrido entre o acionamento do freio o início efetivo da ação do mesmo deve ser o menor possível, para reduzir a distância de frenagem [TRB-SR 211, 1986, p. 276].

A controlabilidade dos freios durante as freadas está relacionada com o bloqueio das rodas em um ou mais eixos. Quando os pneus são bloqueados, eles deixam de produzir as forças laterais necessárias para a estabilidade e o controle direcionais. Quando o bloqueio ocorre nas rodas do eixo direcional, o motorista perde o controle do veículo, que não pode ser mantido na estrada numa curva ou desviar-se de um obstáculo. Quando o bloqueio ocorre nas rodas traseiras do cavalo, ou nas rodas do eixo do *dolly*, o cavalo ou o *dolly* tornam-se instáveis; o rápido movimento rotacional resultante é comumente chamado de efeito “L”, *dobramento* ou “*canivete*”. Finalmente, se as rodas da carreta travam, a traseira da carreta oscila para fora, uma condição normalmente chamada de *swing* da carreta.

5.2.1. Impactos dos DSRs sobre a frenagem

Embora os problemas de freio aumentem com a manutenção inadequada e as regulagens sejam importantes durante paradas normais, os efeitos da configuração do veículo sobre a segurança da frenagem parecem significativos apenas durante frenagens de emergência. Grandes caminhões são incapazes de responder tão rapidamente quanto outros em situações de emergência. E os veículos articulados são mais propensos a instabilidades durante freadas que os veículos não articulados [TRB-SR-211, 1986, p. 276].

O efeito da configuração dos veículos foi alvo nos Estados Unidos de intensas pesquisas, testes de campo e simulações. Essas pesquisas indicam que, quando adequadamente projetados, ajustados e mantidos, os DSRs e conjuntos cavalo mais carreta mostram distâncias de frenagem semelhantes entre si. Mas pequenas diferenças na controlabilidade sob emergência têm sido constatadas. Uma condição identificada como perigosa é o acoplamento de uma carreta vazia atrás de uma cheia, para facilitar a

41 $d = v^2/30f$, sendo v a velocidade inicial, em *mph* e f o coeficiente de atrito pneu/pavimento o valor de d será dado em pé [AASHTO, 1990, p. 119]

movimentação nos terminais. Nessa situação, os freios da roda da carreta vazia ficam altamente superdimensionados, dificultando o controle da frenagem [TRB-SR 211, 1986, p.120].

/ Com os veículos carregados, as distâncias de frenagem de um SRC e de um C^{33} *double* de seis eixos, a 100 km/h, são praticamente as mesmas (cerca de 200 m). Com o semi-reboque a meia carga e a carreta traseira do *double* descarregada, esses valores sobem respectivamente para 255 m e 500 m. A eficiência dos freios chega a 70% tanto para o semi-reboque carregado quanto para o *C double*. Em condições de meia carga, essa eficiência cai respectivamente para 52% e 25%. A ausência de carga reduz o peso transmitido aos eixos traseiros em proporção maior do que nos grupos de eixos dianteiros. [HUTCHINGSON e PARKER, 1988, p. 109 a 111]. /

5.2.2. Efeitos do comprimento e do peso bruto

Pouca atenção tem sido dada aos possíveis efeitos do comprimento dos semi-reboques no desempenho dos veículos articulados nas situações de emergência. ERVIN et al. [1993], formulam a hipótese de que semi-reboques mais compridos proporcionam ligeira melhora na capacidade de frenagem, uma vez que exigem maiores distâncias entre eixos. Da mesma forma, maiores taxas de desaceleração poderiam ser alcançadas sem o travamento das rodas traseiras porque menos carga sobre os eixos é transmitida dos eixos traseiros para os dianteiros durante a frenagem.

Uma consequência disso pode ser o aumento da carga líquida pelo uso de semi-reboques mais compridos. No entanto, o possível efeito do peso bruto do veículo sobre a distância de frenagem não foi estabelecido.

5.2.3. Impacto de novas tecnologias

O desempenho dos veículos combinados pode ser consideravelmente melhorado pela incorporação de novas tecnologias baseadas na eletrônica e na informática. Hoje, a eletrônica controla não só os freios mas também motores, transmissões e outros sistemas do veículo. Em particular, quanto aos freios, já estão em uso o ABS (Sistema Antibloqueio de Rodas) e o ASR (Sistema de Regulagem Antiderrapante). Enquanto isso, várias empresas desenvolvem sofisticados sistemas de freios eletrônicos (EBS).

O sistema ABS - Obrigatório em toda a Europa para ônibus com mais de 12 m, caminhões de pbt superior a 16 t e carretas com mais de 10 t [Transporte Moderno, julho 1991], mas não nos Estados Unidos, o ABS-Sistema Antibloqueio de Rodas, dispositivo de segurança fabricado desde 1992, vai se tornando cada vez mais popular.

No sistema de freios convencional, que funciona com a mesma pressão em todas as rodas, o motorista pode agir apenas parcialmente contra o bloqueio das rodas, pois só o

33 O artigo original fala em *B-double*. Expressão mudada para *C-double* por coerência com a terminologia adotada neste trabalho. Ver capítulo 3.

percebe depois que já ocorreu e, mesmo assim, através de seus efeitos: perda de trajetória e ruído dos pneus. Na maioria dos casos, já é tarde demais.

Quando os veículos são equipados com ABS, a pressão dos freios deixa de ser constante. Pelo contrário, passa a ser automaticamente ajustada para impedir o bloqueio das rodas. Uma unidade de comando eletrônico recebe e processa pulsos de rotação vindos de anéis de impulsos e sensores instalados nas rodas. Assim, como base na rotação e na sua variação, a unidade de comando reconhece, a qualquer instante, a aceleração, desaceleração e o deslizamento de cada roda.

Se um sensor informa à unidade de comando eletrônico a iminência de um bloqueio em uma das rodas, ela mantém, com base em parâmetros de desaceleração e deslizamento, a pressão de frenagem na roda em questão.

Se, mesmo assim, a iminência do travamento persiste, a pressão de frenagem é então reduzida. Com isso, a roda volta a acelerar. Afastada a iminência de bloqueio, a unidade de comando eletrônico volta a aumentar a pressão a fim de otimizar o processo de frenagem, recomendo o ciclo de controle. Dependendo do tipo de estrada, o freio pode executar quatro a seis ciclos de controle por segundo [KOCK, 1990].

A unidade de comando eletrônico de um caminhão convencional dispõe de quatro microprocessadores. Cada um dos microprocessadores controla uma diagonal (roda dianteira direita/roda traseira esquerda), isto é, a mesma função é processada em paralelo e os dois processadores testam-se mutuamente durante todo o tempo. Em caso de divergência, os microprocessadores desligam uma de suas diagonais, mas a outra continua funcionando.

Nas pistas onde os coeficientes de aderência não são os mesmos para todas as rodas (por exemplo, quando a roda direita está no acostamento e a esquerda no asfalto ou uma roda no seco e a outra no molhado), a frenagem provoca uma rotação do veículo em torno do seu centro de gravidade, devido às diferenças entre as forças de atrito. No veículo equipado com ABS, regulagens individuais das rodas dos eixos traseiro anulam essas diferenças, enquanto o sistema de regulagem individual do eixo dianteiro garante a estabilidade e a dirigibilidade.

Sistema ASR - Para complementar o ABS, foi desenvolvido o Sistema de Regulagem Antiderrapante ou ASR, que evita o deslizamento as rodas motrizes quando a força tratora excede a capacidade de aderência. O sistema controla o torque transmitido ao veículo. Utiliza, para tanto, a análise comparativa dos sinais de sensores de rotação instalados nas rodas e eixos dianteiro e tracionado, evitando que o veículo ultrapasse os limites ideais de deslizamento. Para realizar essa tarefa, o ASR tanto pode atuar no sistema de freios quanto no motor do veículo. No primeiro caso, quando uma das rodas ameaça *patinar*, o sistema atua diretamente na rotação do motor através do motor elétrico do ASR. Esse controle independe da pressão exercida pelo motorista sobre o freio [KOCK, 1990].

Custos do sistema ABS/ASR - Impedindo o bloqueio e a patinação das rodas, o sistema ABS/ASR reduz substancialmente o desgaste dos pneus. Embora a tendência a longo prazo seja de barateamento, a instalação do dispositivo no cavalo LS 1935 custava, em junho de 1995, segundo informação do Departamento de Vendas da Mercedes-Benz, R\$ 5 550,00, ou seja, cerca de 5% do valor do equipamento.

Sistema EBS de freio eletrônico - Ainda em fase de desenvolvimento (o lançamento comercial está previsto para 1995/1996 e o uso generalizado, para o ano 2 000), o Sistema de Freio Eletrônico ou EBS unifica as funções do ABS e do ASR e incorpora válvulas individuais e inteligentes em cada roda.

Desta forma, as rodas podem ser alimentadas de ar comprimido com mais rapidez, eliminando-se distâncias a percorrer dentro das tubulações e tornando a resposta dos freios bem mais rápida do que no sistema convencional.

No EBS, o pedal de freio é substituído por um atuador eletrônico, encarregado de enviar a ordem de frenagem ao módulo central. Já os sensores de rodas calculam as forças incidentes, enquanto asseguram a pressão exata a cada momento, produzindo complexos ciclos de atuação e alívio.

Segundo o jornal VEÍCULO [1993]³⁴, o sistema oferece as seguintes vantagens:

1. Reduz os tempos de resposta, encurtando a distância de frenagem;
2. Integra as funções de evitar o bloqueio e controlar a patinagem (derrapagem);
3. Melhora e compatibiliza o balanceamento dos freios do cavalo e das carretas;
4. Simplifica o diagnóstico e as ações de manutenção.

Os obstáculos ao projeto são o alto custo do dispositivo e a necessidade de compatibilizar o funcionamento dos cavalos dotados de EBS com carretas que usam freios comuns.

O freio eletrônico da Bosch/Scania - Projeto semelhante está sendo desenvolvido pela Scania sueca em conjunto com a Bosch³⁵. Denominado *ELB-Electronically Controlled Brake System* (sistema de freios eletronicamente controlado), o dispositivo substitui o ar comprimido pela eletrônica no controle dos freios. O objetivo é obter freadas mais seguras e maior sensibilidade no pedal.

O ELB é acionado por sensores localizados na válvula dos freios de serviço. Tão logo o pedal é comprimido, o freio de cada roda recebe, por meio de um computador, uma "ordem" para entrar em ação. Assim, todas as rodas são freadas diretamente e ao mesmo tempo. Da mesma forma, quando o motorista tira o pé do pedal, o freio é liberado imediatamente.

No sistema convencional a aplicação do freio é controlada pela pressurização das linhas, assim que o pedal é comprimido. Essa pressão passa primeiro por uma câmara antes de chegar às rodas. O mesmo acontece, no sentido inverso, quando o motorista tira o pé do pedal.

34 Número 193/194, 1993, p. 12, Belo Horizonte, MG.

35 Release P940007EN, de 1/7/94 da Saab Scania de Södertälje, Suécia, divulgado em Hannover, durante a exposição IAA/94.

O sistema ELB incorpora o ABS e o ASR. Pode ser utilizado em veículos equipados com EDC (controle eletrônico de Diesel), pois os computadores são interligados. Por medida de segurança, os veículos são equipados com um freio convencional de reserva.

Além de encurtar o tempo de entrada em ação do freio, o ELB reduz a distância de frenagem, o esforço do motorista e os riscos de derrapagem e de dobramento (efeito “L”) do veículo.

O dispositivo já deverá estar sendo comercializado dentro de dois anos. Os testes atuais incluem combinações articuladas e os fabricantes de carretas estão sendo treinados para instalar o equipamento em seus produtos. Segundo a Scania, isso é importante, pois as vantagens do sistema só ocorrem quando a combinação completa é equipada com o ELB.

5.3. Sobrelargura dos DSR x SRC

Nas curvas, a trajetória das rodas de um veículo tracionado não coincide com as do veículo trator. A baixas velocidades, o percurso das rodas das carretas desvia-se para o lado interno da curva. Em velocidades maiores (acima de 16 km/h), a aceleração lateral desenvolvida sobre os pneus cria um efeito dinâmico que provoca o escorregamento para o lado externo. O desvio de percurso pode causar a invasão potencialmente perigosa, pelo eixo traseiro, das faixas vizinhas ou do acostamento (com possível atropelamento da sinalização ou do meio-fio) ou estimular o motorista da composição ou outros motoristas a realizar manobras perigosas³⁶.

5.3.1. Sobrelarguras a baixa velocidade

Cálculos teóricos do arraste em regime estacionário, realizados por RUSSO [1995, p. 77 e 78] levaram aos resultados da *figura 5.3*. Constata-se que, embora bem superiores aos do semi-reboque de três eixos (o mais comum no Brasil) e ao do Romeu-e-Julieta, os arrastes máximos do *western double A* de 21,95 m de comprimento mostram-se sensivelmente menores do que os do semi-reboque de um eixo com carreta de 13,92 m..

³⁶ Ver capítulo 8.

FIGURA 5-3

ARRASTES: WESTERN DOUBLE X CONFIGURAÇÕES CONVENCIONAIS

FONTE: RUSSO [1995, p. 77/78]

O semi-reboque de um eixo, embora pouco utilizado, pode circular livremente no Brasil, sem nenhuma restrição. Espera-se, portanto, que as rodovias brasileiras tenham geometria compatível com a circulação desse veículo. Numa rotatória, por exemplo, para o SR de um eixo ocupar apenas uma das faixas de conversão e permitir ultrapassagens, o raio da curva central deve ser da ordem de 143 m. Rotatórias de 20 m de raio e faixa de 7 m ou de 40 m de raio e faixa de 5 m também podem comportar esse veículo, desde que tenham sinalização proibindo a ultrapassagem ao longo da curva central [RUSSO, 1995, p. 100].

Quanto ao semi-reboque de dois eixos (configuração bem mais usada no Brasil) e 48 pés, o modelo americano utilizado nos cálculos tem 18,23 m de comprimento, ou seja, apenas 8 cm a mais de comprimento do que o limite legal brasileiro, de 18,15 m. Isso indica que um DSR de 21,95 m com dois semi-reboques de 8,5 m não criaria exigências adicionais de sobrelargura.

Outra constatação do estudo é que este arraste seria reduzido de 8,5% nos menores raios de curva a 9,7% nos maiores se fosse utilizado o *C-dolly*. Isso acontece porque as duas barras de engate com dois pinos funcionam como um balanço traseiro do primeiro semi-reboque até a quinta-rod, reduzindo o entre-eixos do segundo reboque e evitando que o cambão arraste-se para dentro da curva.

Simulações no programa AutoTURN para variados tipos de interseções, tanto genéricas quanto reais, em rodovias de classes II e III, projetadas para baixa velocidade e localizadas no Estado de São Paulo, realizadas igualmente por RUSSO [1995], confirmam os resultados acima (tabela 5-2).

TABELA 5-2
LARGURA DE OCUPAÇÃO POR VEÍCULO E TIPO DE CONVERSÃO

CONFIGURAÇÃO	CRUZAMENTO A 90°	INTERSEÇÃO EM "Y" A 135°	CRUZAM. CANALIZADO A 90°	ROTATÓRIA R = 20 m
Semi-reboque de um eixo	7,3	7,6	8,0	6,5
Semi-reboque de três eixos	5,7	5,7	5,8	4,9
Romeu e Julieta	5,5	5,4	5,6	4,9
<i>Western Double A</i>	6,4	6,5	6,8	5,4
<i>Western Double C</i>	6,2	6,2	6,4	5,3
Semi-reboque 48 pés	7,6	8,1	8,6	7,0
FONTE: RUSSO [1995, p. 82] Valores em metros				

Em qualquer tipo de conversão, os valores da largura de ocupação do *western double C* são menores do que a do *western double A*. A ausência de articulação prolonga o comprimento do balanço traseiro da última carreta, cujo quadrado entra como parcela a subtrair na fórmula do arraste.

Esta, por sua vez, é sistematicamente menor do que a do semi-reboque de um eixo e do que a do semi-reboque de 48 pés com dois eixos, tracionado por cavalo de três eixos. Já o *B train* tem arraste sistematicamente menor do que o *dolly A* de mesmo comprimento. Em geral, o eixo traseiro da primeira carreta, encontra-se na extremidade traseira, o que aumenta o balanço da primeira carreta e reduz seu balanço traseiro. Dependendo de suas dimensões, o *B train* pode ter desempenho mais ou menos favorável do que o do *C dolly*.

Uma questão importante é saber se a redução do arraste se mantém quando o cavalo de cabina convencional, de 3,66 m entre os eixos, é substituído por outro, com 3,10 m entre-eixos, para elevar o comprimento das carretas. Quanto menor o somatório dos quadrados das distâncias entre-eixos de uma configuração, menor o arraste produzido³⁷.

Segundo RUSSO [1995, p. 79], o semi-reboque de um eixo produz um somatório dos quadrados das distâncias entre os pontos que afetam diretamente a conversão da ordem de 143. Cálculo semelhante realizado para um DSR com *dolly A* tracionado por cavalo de cabina avançada com apenas 3,10 m entre-eixos mostra que este valor só seria

³⁷ Ve teoria e fórmulas no capítulo 8.

atingindo pelo *A-dolly* quando as carretas ultrapassassem 10,40 m de comprimento, o que permite composições de cerca de 25 m (*tabela 5-3 e figura 5-4*). O uso do *C-dolly* elevaria esse comprimento para 10,90 m, permitindo comprimento total de 26 m.

TABELA 5-3 - SOMA DOS QUADRADOS PARA VÁRIAS CONFIGURAÇÕES

VEÍCULO	COMP. (m)	L1 (m)	L2 (m)	L3 (m)	L4 (m)	L5 (m)	AVANÇO. 5a.Rd.	$\sum L_i^2$ [38]
DSRs Dolly								
19,80 m A	7,80	3,10	5,36	5,61	1,68	1,28	0,25	70,93
19,80 m C	7,80	3,10	5,36	5,61	1,68	1,28	0,25	60,99
20,20 m A	8,00	3,10	5,56	5,81	1,68	1,28	0,25	75,40
20,20 m C	8,00	3,10	5,56	5,81	1,68	1,28	0,25	65,46
21,20 m A	8,50	3,10	6,06	6,31	1,68	1,28	0,25	87,27
21,20 m C	8,50	3,10	6,06	6,31	1,68	1,28	0,25	77,33
22,20 m A	9,00	3,10	6,56	6,81	1,68	1,28	0,25	100,14
22,20 m C	9,00	3,10	6,56	6,81	1,68	1,28	0,25	90,20
23,20 m A	9,50	3,10	7,06	7,31	1,68	1,28	0,25	114,07
23,20 m C	9,50	3,10	7,06	7,31	1,68	1,28	0,25	104,01
23,80 m A	9,80	3,10	7,36	7,61	1,68	1,28	0,25	122,81
23,80 m C	9,80	3,10	7,36	7,61	1,68	1,28	0,25	112,87
24,20 m A	10,00	3,10	7,56	7,81	1,68	1,28	0,25	128,88
24,20 m C	10,00	3,10	7,56	7,81	1,68	1,28	0,25	118,94
24,80 m A	10,30	3,10	7,86	8,11	1,68	1,28	0,25	138,28
24,80 m C	10,30	3,10	7,86	8,11	1,68	1,28	0,25	128,34
25,20 m A	10,50	3,10	8,06	8,31	1,68	1,28	0,25	144,75
25,20 m C	10,50	3,10	8,06	8,31	1,68	1,28	0,25	134,81
26,20 m A	11,00	3,10	8,56	8,81	1,68	1,28	0,25	161,62
26,20 m C	11,00	3,10	8,56	8,81	2,68	1,28	0,25	144,76
SR 1E. Rodov.	13,92	4,20	11,21	0,00	0,00	0,00	0,50	143,05
SR 2E. Rodov.	15,70	3,20	10,80	0,00	0,00	0,00	0,82	126,21
SR 2E. Antonini	15,13	3,80	8,14	0,00	0,00	0,00	0,49	80,46
SR 48 pés	14,65	3,66	12,34	0,00	0,00	0,00	0,30	165,58

Um semi-reboque de dois eixos com 15,70 m de comprimento, tracionado por cavalo com 3,20 m entre-eixos, como o utilizado pela Partezani³⁹ atingiria uma soma de quadrados

38 O quadrado do avanço da quinta roda entra com sinal negativo na fórmula. No caso do *dolly A*, o quadrado do balanço da primeira carreta é subtraído, enquanto o quadrado do comprimento do *dolly* é somado. Tratando-se de um *dolly C*, o quadrado da soma do balanço traseiro da primeira carreta mais o comprimento do *dolly* deve ser subtraído do resultado [RUSSO, 1995].

39 Ver pesquisa com usuários no capítulo 10.

de 126,21. Mostra-se, portanto, pior em arraste do que os *western doubles* e do que um DSR Tectran com *dolly A* com carretas de 9,90 (comprimento total de 24 m) ou do que um DSR com *dolly C* com carretas de 10,20 m (comprimento total de 24,6 m).

FIGURA 5-4 - ARRASTE DSR X SRC

Já um semi-reboque de três eixo com DEE de 3,80 m e carreta de 15,13 m (DEE de 8,14 m) alcançaria uma soma de quadrados de 80,42⁴⁰ o que torna o arraste dessa configuração maior do que a do *western double* de 21,95 m e do que a de um DSR Tectran com *dolly A* e carretas de 8,25 m (comprimento total de 20,7 m) ou do que um DSR com *dolly C* e carretas de 8,65 m (comprimento total de 21,5 m).

Em suma, veículos de *dolly A* com dupla articulação, de até 25 m (37,7% mais longos do que o semi-reboque comum), mesmo usando grandes distâncias entre eixos, apresentam menor arraste do que os semi-reboque convencionais. Esse ganho de comprimento pode ser ainda maior se for usado o *dolly C*. É importante, portanto, basear os procedimentos de regulamentação no desempenho dos veículos e não apenas nas suas dimensões ou em normas estrangeiras.

Em termos de arraste a baixa velocidade (largura ocupada em cruzamentos, interseções e rotatórias), a criação pelo Código Brasileiro de Trânsito de uma categoria de veículos mais compridos, de duas articulações, com circulação irrestrita não traria

53 O uso do tandem triplo reduz consideravelmente a distância entre eixos.

54 DSRs de até 24,8 m *versus* SRC de 18,15 m.

nenhuma exigência adicional em relação aos semi-reboques de um ou dois eixos de 18,15 m e de grande distância entre eixos.

5.3.2. Sobrelargura a alta velocidade

O arraste dinâmico cresce com a velocidade do veículo. Além da geometria da estrada, depende também do tipo de suspensão, pneus, carregamento do veículo e da aderência pneu/pavimento. O fenômeno não chega a ser significativo no desempenho de caminhões pesados, pois a maioria das manobras de conversão em interseção é feita em condições de raio que implicam em pouco escorregamento lateral [RUSSO, 1995, p. 14].

Sob velocidades elevadas, a sobrelargura cresce com o número de unidades tracionadas (isto é, com o número de articulações) e com a velocidade, mas diminui com o aumento da distância entre eixos e com a redução das cargas por eixo [TRB-SR 227, 1990, p. 100].

Para uma dada configuração, a sobrelargura de alta velocidade é máxima para carretas com comprimento na faixa de 25 a 30 pés (7,6 a 9,1 m). Um semi-reboque convencional de 45 pés tem arraste negativo de aproximadamente 0,9 pés (27 cm), enquanto um duplo semi-reboque de 28 pés atinge cerca de 1,4 pés (43 cm). Se a composição usar pneus diagonais, essa diferença sobe para 1,4 pés (43 cm) [TRB-SR 211, 1986, p. 272/273].

5.4. Tombamento em curvas

Nos Estados Unidos, evidências de simulações de computador sugerem poucas diferenças entre a estabilidade dos DSRs e as carretas convencionais em curvas. Ambos têm estabilidade similar, que não chega a ser afetada pelo comprimento do veículo. Veículos mais largos oferecem significativa melhora na estabilidade, se esse aumento for transferido para a bitola [ERVIN et al., 1983].

5.5. Resumo e análise

1. Os *twin trailer trucks* apresentam problemas peculiares de dirigibilidade e estabilidade, devido às suas respostas mais pobres durante o transiente. Um desses problemas é a *resposta ao esterçamento*. Em situações de emergência, a carreta traseira tende a responder ao esterçamento rápido com uma oscilação exagerada. ERVIN et al. [1983] encontraram taxas de amplificação de 1,0 para semi-reboques convencionais e de 2,5 para os DSRs. Essa amplificação intensifica a aceleração lateral, levando esta unidade a atingir o limiar de tombamento antes das outras. Os DSRs tendem a apresentar uma

resposta levemente instável quando trafegam com carga completa a alta velocidade. Demoras provocadas pelas articulações podem atenuar e retardar a percepção dos movimentos da traseira do veículo, reduzindo a capacidade do motorista de reagir adequadamente em situações críticas.

2. A resposta ao esterçamento pode ser melhorada por: a) aumento do comprimento das carretas e da distância entre eixos; b) uso de *dollies* mais rígidos (*trem B* ou *dolly C*); c) aumento da rigidez dos pneus; d) redução do peso bruto da carreta; e) redução do balanço traseiro da carreta; f) redução da velocidade; g) redução da distância entre o centro de gravidade da carreta e seu pino-rei (vale dizer, com o avanço da carreta e colocação das cargas mais pesadas na frente).
3. Deduz-se que o uso no Brasil de carretas mais compridas do que as americanas seria um fator capaz de contribuir para aumentar a estabilidade dos DSRs.
4. Da mesma forma, o uso do *dolly C* pode reduzir o índice de acidentes, embora possa aumentar a sua gravidade. O acidente típico do *dolly A* envolve o tombamento da última unidade, o que leva apenas a danos materiais. Já sinistros típicos com *dolly C* são mais raros e envolvem o tombamento de toda a composição.
5. Entre as vantagens do *dolly C* estão: a) maior segurança, graças à menor amplificação traseira; b) menos acidentes significam menores custos operacionais; c) possibilidade de operar em rodovias secundárias; d) possibilidade de dar marcha-ré; e) possibilidade de aumentar a carga por eixo.
6. Entre as desvantagens do *dolly C* estão: a) preço inicial mais alto; b) o custo de manutenção é o dobro; c) desgaste de pneus 10 a 15% maior; d) maior peso; e) maior dificuldade para engatar.
7. *Dollies* modificados, especialmente, os *CSB Controlled Steering B dollies* canadenses aumentam significativamente o limiar de tombamento e apresentam melhor desempenho do que os tradicionais, especialmente para as altas frequências de oscilação das carretas.
8. Obedecidos os padrões americanos de redução gradual das cargas dos eixos posteriores, um DSR com capacidade nominal de 45 t poderia transportar apenas 38,3 t.
9. A menor distância entre eixos dos *twins* favorece a sua *estabilidade direcional*, isto é, a qualidade da resposta do veículo ao esterçamento em curvas.
10. O balanço oscilatório (oscilação lateral transitória de pequena amplitude provocado por pequenos ajustes na direção e ampliado por outros fatores) constitui perigo apenas na medida em que outros motoristas possam executar manobras anômalas para se afastar de uma composição que apresente essa condição.

11. Enquanto o aumento do número de articulações defasam as respostas ao comando do motorista, o uso de engate simples reduz a capacidade de transmissão de forças de uma unidade para a outra, dificultando a percepção da iminência de perigo. A instalação de alarmas de tombamento ou de suspensão seria uma maneira de alertar o condutor para a iminência de tombamentos.
12. Veículos combinados geralmente não respondem à ação dos freios tão rapidamente quando outros veículos e podem sofrer instabilidades durante as frenagens. /
13. Com os veículos carregados, as distâncias de frenagem de um SRC e de um *C double* de seis eixos são praticamente as mesmas. Com o semi-reboque a meia carga e a carreta traseira do *double* descarregada, enquanto a distância de frenagem do SRC aumenta apenas ligeiramente, a do DSR aumenta 2,5 vezes, devido a uma grande redução na eficiência dos freios.
14. A utilização de freios eletrônicos (tipo ABS/ASR ou EBS) pode reduzir sensivelmente as distâncias de frenagem, evitando bloqueios e deslizamentos de rodas. Esses equipamentos ainda são relativamente caros, mas seus preços tendem a se reduzir na medida em que seu uso for se massificando.
15. O arraste máximo a baixa velocidade de um *western double A* de 21,95 m mostra-se sensivelmente menor do que o de um semi-reboque de um eixo com carreta de cerca de 14 m, ou do que o de um semi-reboque de dois eixos e 48 pés.
16. A articulação do *dolly A* desloca o cambão para dentro da curva, aumentando o arraste a baixa velocidade.
17. Como elimina essa articulação, o *dolly C* produz de 8,5 a 9,7% menos arraste, para um *double* de 21,95 m.
18. Um semi-reboque de dois eixos com 15,70 m de comprimento tracionado por cavalo de 3,20 m de distância entre eixos produz o mesmo arraste a baixa velocidade do que um DSR com *dolly C* e carretas de 10,40 m. Já um semi-reboque de um eixo de cerca de 14 m produz o mesmo arraste que um DSR com *dolly C* e carretas de 10,90 m.
19. O arraste a alta velocidade não chega a ser significativo no desempenho de DSRs, pois a maioria das manobras em intersecções é feita em condições de raio que implicam em pouco escorregamento lateral.
20. DSRs e SRCs têm estabilidade semelhante em curvas e esta estabilidade não chega a ser afetada pelo comprimento do veículo.

CAPÍTULO 6

SEGURANÇA E OPERAÇÕES DE TRÁFEGO

A segurança dos veículos combinados não depende apenas de suas características de dirigibilidade e estabilidade¹, mas também da maneira como sua presença influencia o fluxo do tráfego e a operação de outros veículos. Grandes caminhões carregados podem, por exemplo, obstruir a visão dos motoristas ou dificultar o fluxo de tráfego, especialmente quando enfrentam aclives fortes. /

O estudo do Biotech, citado por FREITAS [1986, p. 152], chegou às seguintes conclusões sobre o efeito dos caminhões nas operações de tráfego nos Estados Unidos:

- Caminhões carregados e *doubles* trafegam mais devagar, desviam-se mais da velocidade média de outros veículos e obrigam as unidades que vêm atrás a desacelerar mais rapidamente e a deixar menores *headways* nos aclives do que caminhões vazios ou semi-reboques convencionais; /
- O comprimento dos veículos de carga não têm um efeito significativo nas operações de tráfego;
- Os problemas mais sérios de segurança causados por veículos longos ocorrem em aclives; /
- Estatisticamente, somente um terço dos acidentes nas operações de tráfego podem ser explicados pelas diferenças de pesos e dimensões;
- Muitos motoristas estão sujeitos a ansiedade quando dirigem perto de veículos longos. Essa ansiedade pode influenciar o desempenho de alguns desses

1 Ver capítulo 5.

condutores e criar situações de insegurança. Em outras palavras, os veículos longos podem contribuir para a ocorrência de acidentes pelos simples fato de estarem nas rodovias; /

- Embora haja mais mudanças forçadas de faixa, invasões de acostamento e freadas perto de veículos longos², esses efeitos são causados muito mais pela diferença de velocidade do que pela configuração. /

Os principais impactos adversos da operação, nos Estados Unidos, dos grandes caminhões sobre a segurança são [TRB-SR 211, 1986, p. 123 e 124]:

Velocidade - Grandes caminhões quase sempre trafegam com velocidade reduzida em aclives, exigindo dos veículos que vêm atrás reações que podem aumentar o risco de acidentes.

Ultrapassagem - Em rodovias de duas faixas e dois sentidos, a ultrapassagem de composições longas por outros veículos era dificultada, em 1986, pelo aumento da largura dos DSRs³, que reduziu a folga entre os veículos; e pelo maior comprimento, que aumenta a distância e o tempo de ultrapassagem.

Acesso a vias expressas e mudanças de faixas - Caminhões mais longos e mais pesados experimentam grande dificuldade para acessar vias expressas. A sua capacidade para entrar com segurança na corrente de tráfego é diminuída não apenas pela sua reduzida capacidade de aceleração, mas também por seus grandes comprimentos, o que reduz a frequência dos intervalos de tempo (*gaps*) suficientes para acessarem as vias expressas. As dificuldades enfrentadas por grandes caminhões nas mudanças de faixas são similares.

Respingos e jatos d'água - Grandes caminhões geram mais respingos e jatos d'água em rodovias molhadas que automóveis ou caminhões leves, aumentando assim o risco de acidentes causados por dificuldades visuais.

Impacto aerodinâmico - A probabilidade de impactos aerodinâmicos potencialmente perigosos quando pequenos veículos se aproximam de (ou ultrapassam) grandes veículos cresce com o tamanho das composições pesadas. |

Obstrução visual - Grandes caminhões podem bloquear a visão dos motoristas vizinhos, aumentando o risco de acidentes.

Posicionamento lateral - Especialmente em curvas, quando um veículo cruza ou ultrapassa caminhões mais compridos ou mais largos, ele precisa se aproximar mais do caminhão ou da borda do pavimento ou de ambos, o que reduz a margem de segurança.

6.1. Velocidade

A diferença histórica de velocidade entre grandes caminhões e outros veículos tem diminuído ao longo do tempo devido ao contínuo aperfeiçoamento das rodovias, ao uso nos

2 O texto fala especificamente dos *triples*, mas o conceito pode ser generalizado.

3 O STAA-82 aumentou a largura dos *twins* de 96 polegadas (2,40 m) para 102 polegadas (cerca de 2,60 m). No Brasil, esta questão é irrelevante.

veículos pesados de motores mais potentes e, no caso específico dos Estados Unidos, à redução do limite de velocidade para 55 mph. No entanto, os grandes caminhões norte-americanos continuam sendo mais lentos que os demais veículos nos aclives acentuados, o que reduz a velocidade média de tráfego, aumenta as dificuldades de ultrapassagem e eleva os riscos de acidentes. /

/A principal característica que afeta a aceleração e a velocidade dos caminhões é a relação potência/peso [WALTON e LEE, 1977, p. 26]. A redução de velocidade dos caminhões em aclives depende não somente do desempenho do veículo, mas também da habilidade e motivação do motorista na seleção correta das marchas e do momento certo de mudá-las [St. JOHN e KOBET, 1978, p. 7]. Esta relação inclui o comprimento e a inclinação da rampa [WALTON e LEE, 1977, p. 29].

/Caminhões carregados trafegam mais devagar do que os vazios, efeito que é ampliado pelos aclives. Em aclives longos e/ou acentuados, a velocidade de grandes caminhões reduz-se, no estado estacionário, a um valor mínimo, chamado de velocidade sustentada, que varia de 10 a 25 mph para caminhões típicos (médios), dependendo da inclinação [WALTON e LEE, 1977, p. 24; St. JOHN e KOBET, 1978, p. 3].

/A velocidade de caminhões em declives é altamente variável, mas caminhões sobrecarregados trafegam a velocidades reduzidas em declives acentuados, algumas vezes, próximas das velocidades mínimas de subidas, para evitar a perda de controle do veículo [St. JOHN e KOBET, 1978]. /

6.1.1. Impacto do controle de velocidade

BAUM et al. [1991, p. 3 a 7] analisaram os efeitos de limites diferentes para automóveis e caminhões na velocidade média do tráfego da Califórnia. A partir de 1987, a legislação americana permitiu aos Estados aumentar o limite de velocidade de 55 para 65 mph. Quarenta Estados usaram essa permissão, porém, dez deles adotaram limites menores para os caminhões. Essa política pode tornar menos discrepantes as distâncias de freagens para automóveis e caminhões e facilitar as ultrapassagens. Em compensação, pode aumentar o diferencial de velocidade e o número de conflitos entre veículos. O estudo de BAUM et al. constatou que, de fato, as velocidades dos caminhões eram menores em Estados que adotaram limites diferenciados e que a diferença, embora pequena (2,7 mph ou 1,4 mph, dependendo do critério) podiam ser estatisticamente significativas.

/No caso brasileiro, atualmente, esse diferencial é muito maior, uma vez que os veículos com duas articulações têm velocidade limitada a apenas 70 km/h, para reduzir distâncias de freagem. Com o desenvolvimento de avançados sistemas eletrônicos⁴ de freios, provavelmente essa restrição apenas contribua, no futuro, para elevar o diferencial de velocidade, especialmente em rampas, e aumentar a necessidade de ultrapassagens. \

4 Ver capítulo 5.

6.1.2. Impacto dos *twins* sobre a velocidade

Devido à sua maior capacidade e à baixa densidade das cargas fracionadas, os *twins* americanos acabam trafegando com maior peso bruto do que os semi-reboques comuns. Por isso, tornam-se mais lentos que os semi-reboques convencionais em subidas que exijam a máxima potência para manter a velocidade [TRB-SR-211, p. 124]. PETERSON e GULL [1975], citados pelo SR-211 [1986, p. 285], registram diferenças de pelo menos 2,4 mph em pesquisa com motoristas, realizada na *Interstate 90*, que liga os Estados de Utah e Nevada. Esta diferença subiu para 4 mph na *Interstate 15*, em Utah.

LARSON e HANSCOM [1984], citados pelo TRB-SR 211 [1986, p. 285], registram, para três outras rodovias interestaduais, desvantagem para os DSRs variando de um mínimo de 2,5 mph para longas rampas de 3%, até 8% para longos aclives de 5%. HANSCOM⁵ [1981], também citado pelo TRB-SR-211 [1986, p. 285], relata diferenças de 3 mph em quatorze rodovias predominantemente de múltiplas faixas. Nas rampas, para caminhões carregados, a velocidade dos *twins* foi aproximadamente 14 mph menor do que a dos semi-reboques.

Essas reduções são atribuídas não apenas a possíveis diferenças entre pesos brutos como também às propriedades aerodinâmicas e à relação potência/peso disponível [TRB-SR 211, 1986, p. 286]. Provavelmente, o fator dominante é a resistência ao rolamento, pois, a baixa velocidade, a influência da aerodinâmica é pouco expressiva.

/De qualquer maneira, o movimento dos *twins* enfrenta maior resistência aerodinâmica do que o dos semi-reboques convencionais, especialmente quando sujeitos a vento lateral, o que dificulta a manutenção de altas velocidades (ver o item 6.6).

O efeito inibidor do peso sobre a velocidade, assim como o efeito aerodinâmico e de outras resistências podem ser superados aumentando-se a potência disponível nos eixos tratores. A potência necessária para manter determinada velocidade é, em primeira aproximação, proporcional ao peso do veículo. Mas os frotistas americanos não estavam levando em conta, na época do estudo, o maior peso dos *twins* na hora de especificar a potência [TRB-SR, 211, p. 124]. Mesmo porque o pbt⁶ máximo dos *twins* é o mesmo dos SRCs.

/ Quando a largura dos caminhões sobe de 96 para 102 polegadas ou o comprimento dos caminhões cresce de 45 para 48 pés, conforme autorização do STAA-82, o aumento da carga e da resistência provavelmente contribuirá para reduzir a velocidade em rampas acentuadas. Entretanto, a literatura não registra quantificações desse efeito, que pode ser compensado pelo uso de cavalos mecânicos mais potentes [TRB-SR 211, p. 286].

6.1.3. Velocidade em rampas no Brasil

/Em resumo, nos Estados Unidos, os problemas mais sérios de segurança dos veículos longos ocorrem em aclives, devido à maior perda de velocidade. As causas dessa perda são o maior peso bruto, a menor potência/peso, maior resistência aerodinâmica e a maior largura dessa configuração no país⁶/

No caso brasileiro, o peso bruto proposto para o DSR (45 t) é o mesmo de algumas das configurações já existentes⁷. Haverá ligeiro aumento de peso bruto em relação a algumas das configurações, como o cavalo de três eixos mais carreta de dois eixos (40 t) ou o cavalo de dois eixos mais carreta de três (43,5 t) ou o Romeu-e-Julietta (43 t).

Essa diferença, no entanto, poderia ser mais do que compensada pela estabelecimento de uma potência ligeiramente mais elevada⁸ para o DSR do que para os veículos comuns. Algumas empresas que operam no segmento de carga comum fracionada, especialmente nas encomendas ou no itinerante já adotam potência mínima de até 360 hp⁹. Cerca de 42,4% das transportadoras interessadas em usar o DSR declararam que adotariam espontaneamente essa potência mínima.

Na verdade, a potência pode ser até menor do que 360 hp e, ainda assim, produzir uma excelente relação potência/peso. Cavalos na faixa de 320 c.v., se usados para tracionar DSR de 45 t desenvolveriam 7,1 hp/t. No transporte de carga volumosa, essa relação será ainda melhor, uma vez que, quase sempre, o veículo atingirá o limite de volume antes de completar a tonelagem máxima.

Se a relação potência/peso dos veículos fosse igual, o DSR poderia manter nos aclives velocidades de equilíbrio aproximadamente iguais às dos veículos convencionais utilizando pneus de mesmo diâmetro, as mesmas relações de marcha no trem de força e motores de curvas de torque e potência semelhantes. Para uma mesma velocidade e um mesmo aclive, tanto a resistência ao rolamento quanto a resistência de rampa são proporcionais ao peso. Já a resistência aerodinâmica não depende do peso, mas sim do coeficiente de penetração aerodinâmica, que é maior para o DSR¹⁰ do que para semi-reboques comuns, da área frontal do veículo e do quadrado da velocidade. No entanto, quanto mais longo e mais acentuado o aclive, menor, a velocidade instantânea, o que reduz progressivamente o peso dessa componente.

A *figura 6-1*, mostrando as velocidades instantâneas em rampas de 7%, foi construído a partir de dados utilizados em sua dissertação por MACHADO NETTO [1995, p. 89 a

6 Veja capítulo 4.

7 Cavalo de dois eixos mais semi-reboques de três eixos distanciados; ou semi-reboques de três eixos mais carretas de três eixos.

8 Para uma mesma velocidade (V), a força de tração (F_t) é proporcional à potência (P) [WIDMER e SETTI, 1993, p. 89]: $F_t = 2175P/V$ (P em hp), F_t em N e V em km/h.

9 Ver capítulo 10.

10 Ver item 6.6

102] para um caminhão semi-pesado Mercedes 2318, um semi-reboque tracionado por Scania T 113H 4x2, um Romeu-e-Julietta Mercedes 2325 6x4 e treminhão tracionado por Scania T113 H 6x4, todos veículos usuais nas rodovias brasileiras.

FIGURA 6-1
CURVAS DE VELOCIDADE INSTANTÂNEA EM RAMPAS DE 7% (BRASIL)

FONTE: MACHADO NETTO [1995], Comunicação Pessoal

Parte-se de uma relação potência/peso de 6 hp/t (carga normal) e velocidade inicial de 80 km/h¹¹. A velocidade final mostra-se bastante baixa para os veículos MBB. Dados adicionais revelam que essa velocidade reduz-se ainda mais quando os veículos são sobrecarregados, uma condição normal nas rodovias brasileiras. Se a relação potência/peso baixar para 4 hp/t, as velocidades finais seriam de 10 km/h para o Romeu-e-Julietta e 11 km/h para o caminhão semi-pesado.

Diagrama de desempenho elaborado pela Engenharia da Mercedes-Benz para o LS 1935/46¹² tracionando duplo semi-reboque e utilizado pela Real Encomendas para instruir processo de obtenção da AET, mostra velocidade de arraste de cerca de 23 km/h para rampas de 7%).

11 Quando o veículo não consegue atingir essa velocidade, parte-se de velocidade menor.

12 PBT= 45 t; Área frontal= 6,5 m²; Coeficiente de penetração (C_w)= 0,800. Motor: OM 447 LA Nacional; Potência = 2600 kW (356 hp) a 2 600 rpm. Torque=1550 Nm a 1600 rpm. Pneus: 11.00x22-14 PR. Raio do pneu = 0,555 m. Relação de transmissão= 4,201:1. Câmbio: ZF 16S-130. Primeira marcha: 13680/57470; Segunda marcha: 11640/48900. Terceira marcha: 9 400/39489. Quarta marcha: 8000/33608. Quinta marcha: 6 730/28273 [Departamento de Engenharia MBB].

Infere-se que a maior relação potência peso garantiria ao DSR um desempenho em rampas bem melhor do que o dos veículos semi-pesados e, no mínimo, igual ao dos atuais veículos pesados mais potentes.

Não se deve esquecer também que o DSR reduz a quantidade de veículos necessários para transportar um mesmo volume de mercadorias. Pode-se concluir, portanto, que, longe de congestionar o tráfego, o DSR, desde que utilizado com adequada relação potência/peso, contribuiria para aumentar a velocidade média nas estradas.

6.1.4. Resumo

¹ Em resumo, nos Estados Unidos, grandes caminhões trafegam mais lentamente do que outros veículos, tanto em aclives quanto em declives acentuados¹³. Embora o efeito dos aclives reflita a redução de desempenho devida ao aumento do peso bruto, reduções de velocidade nos declives resultam de uma tentativa deliberada do motorista de manter o controle do veículo. Em seções tangente e em nível de rodovias sujeitas ao limite de 55 mph, as velocidades de caminhões e automóveis são incompatíveis. Ligeiramente mais pesados, devido ao maior volume e ao fato de transportarem cargas de baixa densidade, em geral, os *trucks* americanos deslocam-se mais lentamente do que os semi-reboques nos aclives que exigem a utilização de potência máxima para manter a velocidade, [TRB-SR 211, 1986, p. 287].

No caso brasileiro, desde que utilizado com adequada relação potência/peso, longe de atravancar as rodovias, o DSR poderia ter, nos aclives, velocidade bastante superior ao dos caminhões semipesados e, no mínimo igual ao dos caminhões pesados mais potentes. Contribuiria também para reduzir o número de veículos nas estradas.

6.2. Comprimento e ultrapassagem

Quando um motorista pode manter a velocidade desejada, isto é, quando a presença de outro veículo não cria qualquer restrição ao seu movimento, ele desfruta do melhor nível de serviço (ou da melhor qualidade de tráfego) possível.

Em correntes de tráfego misto nas rodovias de pistas simples de duplo sentido, nas quais as velocidades dos veículos podem mostrar ampla variação, veículos mais rápidos necessitam de oportunidades para ultrapassar os mais lentos para não degradar a qualidade de tráfego. Geralmente, como a demanda por ultrapassagens aumenta enquanto a oportunidade de (e a facilidade para) ultrapassar decresce(m), as demoras para ultrapassar

13 No Brasil, os veículos unitários são antigos e de baixa potência, o que invalida esta conclusão.

aumentam e o nível de serviço cai. O grau de dificuldade de ultrapassagem é influenciado, entre outros, pelos seguintes fatores [TBR-SR-211, 1986, p. 187]:

- Capacidade de aceleração do veículo que ultrapassa, incluindo seus efeitos nos aclives;
- Volume ou taxas do *mix* do tráfego;
- A presença ou ausência de tráfego no sentido oposto;
- Distribuição de velocidades (determinada pelas velocidades desejadas, características dos veículos e intensidade dos aclives);
- Visibilidade, determinada, pela geometria da via;
- Comprimento do veículo ultrapassado. /

/Em geral, a velocidade reduzida e a baixa capacidade de aceleração dos grandes caminhões aumentam o número de ultrapassagens por veículos de melhor desempenho. Isso tende a dificultar o fluxo de tráfego e, se as oportunidades de ultrapassagem são limitadas, pode retardar os veículos de melhor desempenho. /

\A segurança pode ser reduzida devido a freadas de outros veículos, para diminuir suas velocidades, e ao aumento do risco associado com as manobras de ultrapassagem. Em rodovias de pista dupla com múltiplas faixas, as oportunidades de ultrapassar são freqüentes, exceto sob grande congestionamento, e as manobras de mudança de faixa envolvem poucos riscos. Em rodovias de pista simples e duplo sentido, no entanto, as ultrapassagens são muito mais arriscadas e o grau de risco é influenciado pelo tamanho do veículo. \

\O efeito dos grandes caminhões na impedância de ultrapassagem é muito mais significativo nas rodovias de pista simples. Embora o fator primário seja a redução das oportunidades de ultrapassagem, devido à presença de tráfego no sentido oposto, os aclives são freqüentemente mais acentuados em rodovias de pista simples e as restrições à visibilidade assumem papel crítico no procedimento de ultrapassagem. \

6.2.1. Influência do comprimento e da configuração

Pesquisas extensas sobre o comportamento de motoristas na ultrapassagem de grandes caminhões reportadas por TROUTBECK [1979, 1980 e 1982] , citado pelo TRB-SR-211 [1986, p. 288] indicam que: \

- \Nas manobras de ultrapassagem de caminhões por automóveis, a distância inicial depende do tamanho e da configuração do caminhão; \
- \A dificuldade da manobra de ultrapassagem aumenta com o comprimento do veículo ultrapassado. \ Em particular, os tempos e distâncias médios de ultrapassagem encontrados foram 6% maiores para um cavalo mais semi-reboque de 65 pés do que para o mesmo conjunto com 52 pés. \ Este aumento é compensado pela redução do número de veículos necessários para transportar a mesma carga. \

- Os veículos costumam acelerar por um período mais longo quando ultrapassam um caminhão mais longo. /
- O comportamento na ultrapassagem de um duplo semi-reboque de 69 pés não foi significativamente diferente do constatado na ultrapassagem de um semi-reboque convencional do mesmo comprimento. Além do mais, motoristas familiarizados com os duplos semi-reboques não os ultrapassam de maneira mais prudente do que os que não estão familiarizados com esse tipo de caminhão. /

[LARSON e HANSCOM [1984], igualmente citados pelo TRB-SR 211 [1986, p. 288], depois de analisarem *doubles* e *triples*, encontraram evidências de:

- Demoras ocasionadas por *doubles* e *triples* em rodovias de duas faixas e dois sentidos;
- Hesitação dos motoristas em ultrapassar veículos mais longos, apesar da existência de intervalos suficientes para uma ultrapassagem segura;
- Aumento dos tempos para ultrapassar caminhões mais compridos;
- Efeitos nas oportunidades de ultrapassagem e no conforto. /

Contrariando uma das conclusões acima, há indícios de que o comprimento do veículo não é importante na ultrapassagem. [St. JOHN e KOBET, 1978, p. 26]. GLENNON [1980] foi o primeiro a incorporar o comprimento dos veículos impedidores a um modelo de determinação de distância de visibilidade de ultrapassagem (DVU).

O modelo de Glennon utiliza as seguintes equações para calcular essa distância:

$$DUV = 2v \left[2 + \frac{L_p - \Delta_c}{m} \right]$$

$$\Delta_c = L_p + m \left[\frac{(2m + L_i + L_p)}{2v - m} - \sqrt{\frac{4v(2m + L_i + L_p)}{d(2v - m)}} \right]$$

onde: v = Velocidade de projeto

L_p = Comprimento do veículo ultrapassador

L_i = Comprimento do veículo impedidor

Δ_c = Separação crítica entre o veículo impedidor e o veículo que ultrapassa

m = Diferença de velocidades entre o veículo que ultrapassa e o impedidor

d = Taxa de desaceleração do veículo que ultrapassa, no ato de abortar a manobra

G = Distância entre o veículo que ultrapassa e o impedidor no final da operação

Estas equações foram deduzidas a partir de algumas hipóteses básicas:

1. O veículo ultrapassador e o opositor são sempre automóveis, mas o impedidor pode não ser um automóvel;
2. Existe uma posição crítica ou ponto de não retorno, no qual as distâncias para abortar a manobra são iguais;

3. O veículo opositor trafega à velocidade de projeto, o veículo que ultrapassa acelera até atingir a velocidade de projeto e o veículo impedor trafega a uma velocidade constante e inferior à velocidade de projeto;
4. Assumindo-se que, no final da ultrapassagem, o intervalo mínimo entre os dois veículos é de 1 segundo, pode-se fazer $G = m$, desde que se trabalhe com segundo para unidade de tempo.

Uma das dificuldades de se aplicar o modelo está na determinação das diferenças de velocidade (o termo m da fórmula) para as várias velocidades de projeto. Baseado em WEAVER e GLENNON [1971], GLENNON [1988] sugere uma tabela de velocidades diferenciais críticas, baseadas no 85º percentil de velocidades, variando linearmente de 12 mph para velocidade de projeto de 30 mph até 8 mph para velocidade de projeto de 70 mph.

A partir desses valores, analisa a sensibilidade da distância de visibilidade de ultrapassagem (realizada por um automóvel de 16 pés e capacidade de desaceleração de 8 pés/s²) ao comprimento dos veículos impedidores.

O resultado está na *tabela 6-1* e na *figura 6-2*, onde as unidades foram convertidas para o sistema MKS. Nota-se que, quando se passa de um veículo de 19,80 m para outro de 33,5 m, a distância de visibilidade de ultrapassagem eleva-se entre 9,0% na menor velocidade até 12,3% na maior velocidade.

FIGURA 6-2 - VARIAÇÃO DA DVU COM O COMPRIMENTO DO VEÍCULO

TABELA 6-1 DISTÂNCIA DE VISIBILIDADE DE ULTRAPASSAGEM EM FUNÇÃO DO COMPRIMENTO DO VEÍCULO IMPEDIDOR (m)

VEL. PROJETO. (km/h)	AUTOMÓVEL 4,9 m	CAMINHÃO 16,80 m	CAMINHÃO 19,80 m	CAMINHÃO 33,5 m
64,4	204	231	238	259
80,5	253	293	299	329
96,5	302	350	360	402
112,6	347	402	420	472
ADAPTADO DE GLENNON [1988, p. 136].				

Isso leva GLENNON [1988] a concluir que o efeito do comprimento não é tão dramático como faziam crer até então alguns autores. Um destes, FANCHER [1986, p. 31], por exemplo, afirmava que a ultrapassagem de veículos longos por automóveis pode exigir mais de 90 m (300 pés) adicionais à DVU recomendada para a ultrapassagem de outro automóvel.

Trabalhando na mesma linha, RILLET et al. [1990], citados por MACHADO NETO [1995, p.66/67] construíram um modelo bastante complexo¹⁴ para a determinação da DVU levando em conta a influência do comprimento dos veículos impedidores e encontraram igualmente variações pequenas (entre cerca de 4 e 8%) para veículos de 25 m em relação aos de 15 m) e velocidade de projeto entre cerca de 50 e 110 km/h).

HARWOOD e GLENNON [1989] utilizaram o modelo de Glennon modificado¹⁵ para comparar as DVUs necessárias para ultrapassagens efetuadas por automóveis e caminhões sobre automóveis e caminhões. Os comprimentos adotados foram de 5,80 m (19 pés) para automóveis) e 22,9 m (75 pés) para os caminhões.

Os resultados mostram (*tabela 6-2*) que a DVU para automóvel ultrapassando caminhão aumenta de 8,0% a 20,8% em relação ao par automóvel/automóvel. Da mesma forma, o par caminhão/caminhão mostra DVUs até 15,3% maiores do que o par caminhão/automóvel.

O modelo admite que o veículo ultrapassador não precisa estar à velocidade de projeto no momento que atinge o ponto crítico, mas pode continuar acelerando.

- 15 Quando a situação envolvia um caminhão como ultrapassador, utilizou-se como velocidade deste veículo a média das velocidades entre o impedidor e o opositor (esta última, tomada como igual à velocidade de projeto).

TABELA 6-2 - DVUs SEGUNDO HARWOOD & GLENNON [1989]

VEL. PROJ. (km/h)	SITUAÇÃO DE ULTRAPASSAGEM (ULTRAPASSADOR/IMPEDIDOR)			
	AUTOM./AUTOM.	AUTOM./CAM.	CAM./AUTOM.	CAM./CAM.
32	99	107	107	107
48	160	175	183	206
64	213	246	267	297
80	267	312	343	389
97	312	381	419	480
113	366	442	495	571
Valores em metros.				

Os maiores acréscimos (8 a 56%) ocorrem quando se compara o par caminhão/caminhão com o par automóvel/automóvel. Para o par automóvel de 5,80 m/caminhão de 22,9 m, o aumento da DVU em relação aos resultados de Glennon para automóveis de 4,90 m/caminhões de 19,80 m não vai além de 5% na maior velocidade¹⁶.

6.2.2. Estimativas de DVUs para o DSR

Conclui-se, da revisão da literatura¹⁷, que, embora a distância e o tempo de ultrapassagem aumentem com o comprimento do veículo, o acréscimo provocado pelo DSR em relação ao SRC é pequeno e não tem efeito significativo na segurança dos veículos./

No caso da ultrapassagem, o cálculo das distâncias de visibilidade de ultrapassagem a partir do modelo de GLENNON [1990]¹⁸ pode dar uma idéia do impacto do comprimento do DSR nessa operação (*tabela 6-3*). Quando se passa de um veículo de 19,80 m (atual limite máximo) para outro de 23 m, a DVU aumenta entre 2,1 e 3,1%. Quando se passa do semi-reboque comum de 18,15 m para o DSR de 23 m, os aumentos variam de 3,9 a 4,8%.

TABELA 6-3 - DSR X VEÍCULOS CONVENCIONAIS EM ULTRAPASSAGENS

VEL. DE PROJETO (km/h)	SR 18,15 m	RO-JUL 19,80 m	DSR 23 m	DSR/SEMI- -REBOQUE	DSR/ RO-MEU-E-JULIETA
64	233	237	242	1,039	1,021
80	295	299	307	1,041	1,027
97	355	360	371	1,045	1,031
113	414	421	434	1,048	1,031
Cálculo baseado no modelo de GLENNON [1980]. Valores em metros.					

16 442 m contra 421 m = acréscimo de 21 m na maior velocidade. Parte deste acréscimo deve-se ao aumento do comprimento do automóvel, de 4,90 m para 5,80 m.

17 Ver bocas anteriores

18 Utilizados fórmulas e valores citados no capítulo 6.

6.2.3. Ultrapassagem em faixas múltiplas

Grandes caminhões são menos prejudiciais em vias de múltiplas faixas onde a oportunidade de ultrapassar não é reduzida pela limitação da visibilidade e a presença de tráfego na direção oposta. Segundo NEWMAN [1965], citado pelo TRB-SR-211 [1986, 288], foi registrada pequena ou nenhuma demora para automóveis em vias de quatro faixas quando o volume permanecia abaixo de 1 500 veículos por hora e todos os caminhões lentos mantinham-se faixa de direita.

St JOHN e KOBETT [1975], *apud* TRB-SR 211 [1986 p. 289], asseguram que a probabilidade de demora em aclives aumenta com o volume, tanto de automóveis quanto de caminhões. Muitos dos veículos mais rápidos são retardados, tanto devido às reduzidas oportunidades de mudar de faixa quanto ao bloqueio temporário das faixas com o crescente aumento do número de caminhões ultrapassando outros caminhões. Quando existe um intervalo aceitável, observam-se caminhões ultrapassando veículos mais lentos, mesmo que retardem o tráfego na faixa de ultrapassagem.

O estudo empírico de HANSCOM [1981], citado pelo TRB-SR-211 [1986 p.289]), analisa a influência de grandes caminhões na ultrapassagem em faixas múltiplas. Em comparação com o tráfego que vinha atrás de caminhões vazios, veículos que seguiam caminhões cheios em aclives sofreram grandes atrasos e grandes reduções de velocidade, aproximaram-se de traseira mais rapidamente e ultrapassaram com maior velocidade relativa.

Também foram comparados os efeitos relativos dos duplos semi-reboques e conjuntos cavalo mais reboque. Embora veículos seguindo semi-reboques se aproximassem da traseira mais rapidamente e ultrapassassem a velocidade relativas mais altas, não foram observadas diferenças significativas na velocidade de acompanhamento e nas demoras. Aparentemente, os volumes de tráfego não eram suficientemente grandes nos locais do estudo para restringir seriamente a capacidade de ultrapassar através da mudança de faixa.

O efeito dos semi-reboques longos é semelhante ao dos duplos semi-reboques e resulta essencialmente da combinação de maior comprimento e maior carga.

6.2.4. Resumo

Em suma, nos Estados Unidos, a reduzida velocidade dos grandes caminhões, particularmente, em aclives, aumenta o número de ultrapassagens pelos veículos de melhor desempenho. Se não existem freqüentes oportunidades de ultrapassar sem demoras, a qualidade geral do fluxo diminui.

No Brasil, os duplos semi-reboques teriam pequeno ou nenhum efeito na distância, no tempo e no comportamento de ultrapassagem porque teriam boa relação potência/peso. O ligeiro aumento nos tempos e distâncias de ultrapassagem, devido a pequenos diferenciais de comprimento, em comparação com os semi-

reboques convencionais, seriam provavelmente compensados pela redução do número de caminhões necessários para transportar a mesma carga./

6.3. Manobras em vias expressas

Os efeitos operacionais de grandes caminhões são menos significativos em vias expressas do que em outros tipos de estradas. Mas podem afetar certas manobras, como o acesso a vias expressas e mudanças de faixas. Em vias expressas, o acesso é a manobra que provavelmente é mais afetada de maneira adversa pelos grandes caminhões. |

Á primeira vista, o aumento do peso e do comprimento dos caminhões dificulta a manobra e reduz a segurança. O grande comprimento e a capacidade de aceleração limitada dos grandes caminhões podem aumentar a sua dificuldade para encontrar um intervalo (*gap*) adequado para acessar uma faixa de tráfego sem interromper o fluxo.\

Quando um grande caminhão está trafegando na faixa externa de uma via expressa, o seu comprimento, somado com a fila de veículos que se agrupam atrás dele, forma um pelotão que bloqueia o acesso de outros veículos. Adicionalmente, aumentos nos comprimentos de caminhões podem prejudicar a visão traseira do motorista do caminhão assim como a sua capacidade para avaliar a segurança de uma mudança de faixa.\

No entanto, a literatura técnica registra limitadas evidências de que as grandes combinações tenham dificuldades para encontrar intervalos adequados para acessar vias principais sem causar perturbações aos tráfegos dessas vias. Além do mais, as tentativas de quantificar esses efeitos não conseguiram identificar significativas variações nos resultados para veículos de diferentes comprimentos e pesos. Essa conclusão pode ser atribuída a deficiências metodológicas. “Mas, até que surjam estatísticas definitivas, não há nenhuma razão para suspeitar que pequenos aumentos nas dimensões e pesos de caminhões tenham efeito adverso significativo nas manobras de acesso a vias expressas” [TRB-SR 211, 1986, p. 290].

6.4. Comportamento em interseções

O grande comprimento e a limitada capacidade de aceleração dos grandes caminhões podem aumentar sua dificuldade para encontrar um intervalo (*gap*) adequado para acessar ou cruzar uma rodovia. No caso brasileiro, DEMARCHI [1995, p. 84] encontrou, para interseções em rodovias de pistas simples e duplo sentido, com acostamento, as relações entre tempos de cruzamento da *tabela 6-4*. Uma interpolação para um DSR de 23 m conduziria a valores de 2,05 vezes o tempo de automóvel para cruzamento sem parada e de 2,60 com parada. Isso significa acréscimos de 10,8% e 6,1% em relação aos tempos do Romeu-e-Julietta e do semi-reboque de mesma relação potência/peso.

TABELA 6-4 - TEMPOS DE CRUZAMENTO EM RELAÇÃO AO AUTOMÓVEL

CATEGORIA	SEM PARADA	COM PARADA
Caminhão semipesado (13 m)	1,43	1,85
Caminhão semi-reboque (18,15 m)	1,71	2,14
Caminhão + reboque (19,80 m)	1,85	2,45
Treminhão pesado (30 m)	2,48	2,93
FONTE: DEMARCHI [1995, p. 86].		

Comparando os tempos com a distância percorrida (medida entre as faces dianteiras do veículo desde que entra até que sai completamente da interseção), o estudo constata que as relações tornam-se muito próximas, variando de 0,27 a 0,29 seg/m.

6.5. Jatos e respingos

Em tempo de chuvas, veículos em movimento respingam água, lama e neve, em grandes gotas ou porções (*splash*), criando inconvenientes aos motoristas e pedestres vizinhos. Além do mais, alguns desses respingos atingem a parte inferior do veículo ou os pneus e são dispersados através de um jato (*spray*) de pequenas partículas em forma de nuvem. Dependendo da natureza ou extensão desse jato, ele pode bloquear a visão dos motoristas que estão atrás ou do lado, aumentando os riscos de acidentes.

Respingos e jatos emitidos por grandes caminhões provocam condições mais críticas do que os causados por veículos menores, porque os veículos pesados deslocam maior quantidade d'água, desenvolvem padrão de fluxo de ar mais favorável à formação de jatos e projetam a nuvem da mistura a maiores alturas.

No entanto, segundo WEIR et al, citados por FREITAS [1986, p. 154], unidades articuladas não criam maiores padrões de jatos d'água do que os SRCs porque a maior parte do jato é gerado pelo cavalo mecânico, que deixa pouca água no caminho das rodas das carretas.

Apesar da semelhança de formato e volume entre os duplos semi-reboques e os semi-reboques convencionais, os dois veículos geram quantidades e tipos de jatos diferentes. Em particular, o maior comprimento dos *twins* aumenta o tempo durante o qual a visão dos motoristas que os ultrapassam é dificultada e pode afetar a intensidade da turbulência e o fluxo do ar no espaço entre os dois semi-reboques, o que constitui uma fonte geradora adicional de nuvens de *spray*. Em compensação, os eixos em tandem do semi-reboque convencional geram nuvens de jato maiores e mais densas. Gotas d'água deslocadas do piso da estrada são mais facilmente atomizadas, uma vez que seu impacto na superfície dos pneus adjacentes em movimento é multiplicado pelo tandem. Entre eles, a mesma fonte cita Em

testes conduzidos em Fort Stackton, Texas, pelo Western Highway Institute, a intensidade dos jatos e respingos gerados pelos semi-reboques convencionais e por duplos semi-reboques operando sob condições bem controladas foi visualmente avaliada por observadores usando uma escala de cinco pontos, que ia de *insatisfatório* a *satisfatório*. A conclusão unânime de sete observadores foi que o *twin* não somente era superior ao semi-reboque convencional, como também era a melhor entre as onze configurações. Da mesma forma, testes realizados em Madras, Oregon, concluíram que os *twins* geram 20% menos jatos que os semi-reboques convencionais [TRB-SR 211, p. 291 e 292].

6.6. Impacto aerodinâmico

As forças aerodinâmicas que atuam sobre um veículo são repentinamente alteradas quando ele ultrapassa um grande caminhão, seja na mesma direção ou na direção oposta. Se o motorista não realizar um ajuste adequado na direção, a ultrapassagem pode provocar um deslocamento lateral potencialmente perigoso. A perturbação aumenta quando [WEIR et al., 1974, p.1,7,8]:

- A separação lateral entre os dois veículos é pequena;
- A diferença de velocidade entre os dois veículos é pequena;
- O veículo sofre perturbação demorada, mas de baixa intensidade;
- O veículo é grande e o seu formato contribui para a perturbação aerodinâmica; e
- O veículo que sofre a perturbação está a sotavento¹⁹ do caminhão e sujeito a vento lateral.

Por ser mais comprido que o semi-reboque convencional e apresentar um vazio entre as duas carretas, o duplo semi-reboque aumenta o potencial de deslocamento lateral de um veículo que o ultrapassa a sotavento, sob ação de vento lateral, caso não haja correção na direção. No entanto, esse pequeno aumento no deslocamento lateral não chega a ter maiores conseqüências e pode ser desprezado [TRB-SR 211, p. 193].

Devido ao seu melhor perfil, os veículos de cabina semi-avançada enfrentam menor resistência aerodinâmica do que os de cabina avançada [TRB-SR 211, 1986, p. 286]. O coeficiente de penetração de um Scania sem aerofólio é de 0,85 para o modelo R (cabina avançada) e 0,80 para um modelo T (cabina convencional). Se o veículo for equipado com aerofólio, esses valores caem para 0,67/0,63 respectivamente. Se a distância entre a carreta e a cabina for minimizada, os coeficientes se reduzem para 0,60/0,57 [SCANIA, 1992]. A utilização de um DSR com cavalo curto de cabina avançada poderia, significar, portanto, trabalhar com um coeficiente aerodinâmico (0,60), menor do que o de um cavalo com cabina convencional onde essa distância não fosse minimizada (0,63)

19 Lado para onde sopra o vento.

6.7. Bloqueio da visão

Um dos impactos sobre a segurança potencialmente adversos dos grandes caminhões é que eles podem bloquear a linha de visão dos motoristas vizinhos, privando-os temporariamente de informações essenciais para a operação do veículo. Infelizmente, há poucos estudos disponíveis sobre a gravidade do problema.

Uma causa comum de interrupção da linha de visão em semáforos é a presença de grandes caminhões ou ônibus na corrente de tráfego. Para analisar o fenômeno, KING et al. [1976, p. 1 a 8] desenvolveram um modelo analítico da geometria do bloqueio e geraram um conjunto de curvas de bloqueio. As conclusões foram:

- O fator que mais contribui para o bloqueio é a altura do caminhão.
- O comprimento é o fator menos importante.
- O bloqueio cresce com o volume de tráfego e a percentagem de caminhões e descrece com o aumento da velocidade média.

No caso de bloqueio em estradas, é de se esperar que as grandes dimensões dos duplos semi-reboques degradem apenas marginalmente a visibilidade de outros motorista [TRB-SR 211, 1986, p. 126].

6.8. Nível de serviço e capacidade

Devido aos seus comprimentos maiores, à menor aceleração e à menor capacidade de manter a velocidade, a presença de grandes caminhões na corrente de tráfego reduz a capacidade e o nível de serviço das rodovias. De acordo com o HCM [1985], o efeito de cada caminhão é medido em termos de carros de passageiros equivalentes (pce), isto é, o número de automóveis que teriam o mesmo impacto do caminhão na qualidade do fluxo (nível de serviço).

O número de automóveis equivalentes é uma função não somente das características dos caminhões, mas também do volume de tráfego, volume de caminhões e das características da própria rodovia.

Segundo o HCM, os efeitos mais prejudiciais dos grandes caminhões sobre o nível de serviço e a capacidade ocorrem nas rodovias de duas faixas e dois sentidos, devido à redução das oportunidades de ultrapassagem. Esses efeitos são mais severos em terrenos acidentados.

O HCM considera os grandes caminhões como um único grupo de veículos e é omissos quanto à análise dos efeitos de tipos específicos de veículos. Mas os efeitos do comprimento, da velocidade, da relação potência/peso e do tipo de veículo já estão demonstrados por vários estudos.

Usando um modelo determinístico de tráfego (modelo de Greenshields), HUBER [1982, p. 67] demonstrou os efeitos do comprimento do veículo no índice de carros de

passageiro equivalentes (pce) para fluxo livre e rodovias de múltiplas faixas. Quando o comprimento efetivo do veículo (medido da traseira do veículo da frente até a traseira do próximo veículo) aumenta de 18,3 para 22,9 m, o número de automóveis equivalentes a um caminhão aumenta entre 6 e 25%, dependendo da velocidade e do método usado para definir a equivalência (se pelo tempo total de viagem ou pelo tempo médio de viagem).

St. JOHN e KOBLET [1978, p. 23 e seguintes] constataram inconsistências entre os resultados das simulações que realizaram e a hipótese de linearidade adotada pelas equações usuais empregadas para se obter os fatores de equivalência. Num dos exemplos apresentados, quando caminhões trafegando a 66 km/h substituem 10% do fluxo de automóveis, cada caminhão equivale a quinze automóveis. Os 10% adicionais são menos prejudiciais que os 10% iniciais, pois a essa altura, a velocidade já estará bastante degradada. A queda da velocidade dos caminhões aumenta substancialmente com o fator de equivalência (pce), mas esse efeito diminui à medida que aumenta a concentração de caminhões.

6.9. Resumo

/Não há ainda conclusões definitivas sobre o impacto dos *twins* no nível de serviço e capacidade das rodovias. No entanto, nos Estados Unidos, o maior comprimento e o maior peso desses veículos trazem degradação ligeiramente maior do que os semi-reboques convencionais para a qualidade do tráfego. Contrabalançando esse efeito indesejável, ocorre uma redução do número de viagens necessárias para transportar a mesma quantidade de carga.

A literatura não apresenta nenhum estudo específico sobre a degradação do nível de serviço do *twin* em relação ao SRC. Sabe-se que seu maior comprimento é compensado pela redução do número de veículos. Mas o efeito líquido dessa troca é desconhecido [TRB-SR 211, p. 299]

\No Brasil, provavelmente, essa degradação seria menor, graças aos seguintes fatores: a) o DSR terá o mesmo peso bruto de semi-reboques de cinco (distanciados) ou seis eixos já em circulação; b) estaria sujeito a exigências de adequada relação potência/peso; c) os veículos teriam a mesma largura dos semi-reboques já existentes; d) haveria redução do número de veículos necessários para transportar a mesma carga.

¶Não haveria também problemas de aumento de bloqueio de visão, pois isso depende muito pouco do comprimento do veículo. A menor distância entre a carreta e o cavalo contribuiria para reduzir o coeficiente de penetração aerodinâmica. Quanto ao aspecto de jatos e respingos, a experiência americana parece indicar que o *twin* tem melhor desempenho do que o SRC convencional. Persistiria, no entanto, ligeira degradação quanto à ultrapassagem do DSR por outros veículos, e cruzamento de interseções, acesso a vias expressas.

CAPÍTULO 7

TAXAS DE ACIDENTES

Assim como os estudos de dirigibilidade/estabilidade e de operação de tráfego, a análise de acidentes também pode fornecer boas indicações sobre a segurança dos *twin trailer trucks* em relação aos veículos convencionais.

7.1. Métodos para análise de acidentes

O método mais utilizado consiste em comparar os números agregados de acidentes com a exposição (quilometragens rodadas), também agregada, para diferentes configurações de veículos. Há várias maneiras de se expressar esse índice: número de acidentes em que a configuração se envolveu, número de acidentes que provocou, número de feridos, número de mortos, sempre por milhão de quilômetros, são alguns deles.

A vantagem desse tipo de análise é que ela responde diretamente, sob condições reais de operação, a uma questão de interesse fundamental: qual a segurança de uma configuração em relação à outra. A maior desvantagem é que os dados disponíveis não permitem isolar os efeitos da configuração da grande variedade de efeitos capciosos relativos ao motorista e ao meio-ambiente.

Nem sempre as estatísticas em que se baseiam os estudos são completas, confiáveis, ou de tamanho suficiente. Pesquisas telefônicas realizadas pelo programa *TIFA-Trucks Involved in Fatal Accidents*, financiado pela indústria de veículos, revelaram que 13% dos caminhões de grande porte relacionados no levantamento de acidentes do programa *FARS-Fatal Accident Reporting System* tiveram suas configurações registradas de maneira incorreta. Além disso, o sistema *FARS* não continha informações sobre a aplicação das carroçarias, a identificação do frotista e se o veículo transportava ou não cargas perigosas [TRB-SR 228, 1990, p. 24]. Estudos realizados em 1981 mostram que apenas 30 a 60% dos acidentes sujeitos a registro são de fato registrados. Principalmente quando são utilizados dados

policiais, o número de acidentes acaba subavaliado. Uma boa parte das ocorrências, especialmente das que envolvem apenas danos materiais, não são registradas. Além do mais, a identificação da configuração do veículo nem sempre é correta [MINGO et al, 1991, p.51].

A crítica mais freqüente aos estudos de taxas de acidentes, como os que serão resumidos neste capítulo, é que a amostragem geralmente é pequena, limitada ou apresenta algum tipo de viés. Ao contrário das opiniões dominantes, os grandes caminhões envolvem-se em um número relativamente pequeno de acidentes. Isso é particularmente verdadeiro para acidentes envolvendo mortos e feridos.

Se as diferenças nas taxas de acidentes para dois tipos de veículos são pequenas (e normalmente, elas estão entre 10 e 20%), então, amostras muito grandes são necessárias para se identificar diferenças estatisticamente significativas. Da mesma forma, a exposição dos veículos aos riscos de acidentes normalmente precisa ser estimada. Isso representa um desafio porque os cálculos são limitados pelas quantidade e pela qualidade das informações [SPARKS et al, 1986, p. 13 e sumário].

Devido aos motivos acima, qualquer estatística comparando duas configurações só é válida quando se consegue controlar os outros fatores que afetam (em muitos casos, até mais do que a própria configuração) as taxas de acidentes. Para reduzir o erro, têm sido utilizados alguns métodos de controle.

O TRB-SR 228 [1990, p.126] faz referência ao controle por caso, no qual um pesquisador retorna ao local do acidente uma semana mais tarde, no mesmo dia da semana, para levantar dados de exposição para três caminhões selecionados na corrente de tráfego: um na mesma hora da colisão original e os outros dois, uma hora antes e uma hora depois. No final da coleta, comparam-se as exposições obtidas para os veículos acidentados e para os veículos de controle, para se determinar o grau de super ou subenvolvimento das várias configurações de veículos. Esse método foi usado por JONES e STEIN [1989] para analisar os acidentes do Estado de Washington¹

Uma contribuição metodológica valiosa foi dada por CHIRACHAVALA et al. [1984], que utilizaram a análise multivariável para fugir do enfoque convencional de simplesmente se dividir o número total de acidentes pelo total de quilômetros percorridos, mesmo que em ambientes operacionais muito diferentes (veja as conclusões do estudo mais adiante). Boas contribuições metodológicas vieram também de JOVANIS et al. [1984] e GLENNON [1981].

Quanto ao levantamento de dados de acidentes, o TRB-SR 228 [1990] trata em profundidade dos requisitos mínimos para monitorar a segurança de caminhões nos Estados Unidos. De acordo com tal estudo, o relato ideal de um acidente envolve o levantamento de pelo menos 22 dados relativos à configuração do veículo, natureza do acidente, motorista, rodovia, meio-ambiente etc (*quadro 7-1*).

¹ Ver relato mais adiante.

QUADRO 7-1 ELEMENTOS ESTATÍSTICOS DE UM ACIDENTE

FATOR	ELEMENTO ESTATÍSTICO
VEÍCULO	Configuração, tipo de carroçaria, placa, envolvimento de carga perigosa
FROTISTA	Número de identificação (RTB)
MOTORISTA	Identificação, idade
ACIDENTE	Eventos, Gravidade (número de mortos, número de feridos, número de veículos envolvidos)
RODOVIA	Classe da rodovia, Grau de urbanização (rural ou urbana), Tipo (sentido único ou duplo), Controle de acesso.
AMBIENTE	Estado, Tempo, Hora do dia, Visibilidade (dia ou noite), Dia da semana, mês, ano.
FONTE: [TBR-SR-228, 1990, p.63].	

Essas informações são suficientes para responder a algumas questões básicas, envolvendo taxas de acidentes, relação entre essas taxas e a idade do motorista, tipo de acidente (por exemplo, colisão, capotamento, efeito “L”, separação de unidades etc) e nível de gravidade (*quadro 7-2*) [TRB-SR 228, 1990].

QUADRO 7-2 QUESTÕES FUNDAMENTAIS PARA SE DEFINIR UM SISTEMA NACIONAL DE MONITORAMENTO DE ACIDENTES

Nº	Q U E S T Ã O
1	Quais são as tendências em termos de número de acidentes com caminhões, montante em termos de quilometragem percorrida pelos caminhões e taxas de envolvimento dos caminhões em acidentes por quilômetro percorrido, desagregadas por tipo de veículo, classe de rodovia e tipo de frotista?
2	Quais são as relações entre as taxas de envolvimento de caminhões em acidentes e a idade dos motoristas?
3	Quais são os tipos de acidentes nos quais diferentes tipos de caminhões estão mais envolvidos e quais são os correspondentes níveis de gravidade?
4	Quais são as tendência em termos de número e gravidade de acidentes, envolvendo veículos autorizados a transportar cargas perigosas, desagregados por tipo de veículo, classe de rodovia, região, tipo de frotista e idade do motorista?
5	Quais são as possíveis omissões e outros vieses de outros programas de acidentes de caminhões e das coletas de dados sobre quilometragens percorridas, com base na comparação entre esses programas e o programa proposto?
FONTE: [TRB-SR 228, 1990, p. 47]	

7.1.1. Influência do ambiente operacional

Outro fator importante é que um acidente é um evento complexo. Para a sua ocorrência e as suas conseqüências contribuem várias causas, relacionadas principalmente com as características dos motoristas e do meio-ambiente e, em menor escala, com as características do veículo (*ver quadro 7-3*).

QUADRO 7-3
FATORES QUE CONTRIBUEM PARA O PADRÃO DE ACIDENTES

ELEMENTO	FATORES
MOTORISTA	Educação e treinamento, Experiência, Idade, Maturidade e temperamento, Saúde e condição médica, Fadiga, Uso de álcool e drogas.
VEÍCULO	Configuração e tipo de engate, Comprimento, Peso, Potência, Tipo de cabine, Tipo de carroçaria, Projeto do chassi, Resistência à colisão, Visibilidade, Inspeção e manutenção, Ambiente da cabine, Integridade do projeto e fabricação, Carga (peso, densidade, periculosidade, padrão de carregamento).
AMBIENTE	Visibilidade, Horário, Condições da superfície do pavimento, Clima, Temperatura, Tráfego (Volume, Composição, Velocidade, Densidade), Rodovia (Características geométricas, Características do acostamento, Características da seção transversal, Características da superfície do pavimento, Classe da rodovia, Controle de tráfego, Interseções e cruzamentos, Regulamentos e policiamento.
FONTE: [TRB-SR-211, 1986, p. 115]	

As variações observadas entre as taxas de acidentes de duas configurações quase sempre refletem muito mais as diferenças entre seus ambientes operacionais que afetam a segurança e a habilidade dos motoristas do que propriamente uma alteração física no comportamento dos dois veículos [TRB-SR 211, 1986, p.114].

Em geral, o tipo e a configuração do veículo desempenham um papel muito menos importante no total de acidentes sofridos pelos grandes caminhões do que geralmente imaginam a opinião pública e os transportadores profissionais [SPARKS et al, 1986, p. não numerada].

Segundo o TRB-SR 227 [1990, p. 93], a contribuição mais significativa para os acidentes vem de falhas do motorista (cansaço, desatenção, excesso de velocidade, erros de julgamento etc).

EICHER, *apud* TRB-SR 211 [1986, p. 114] constatou que os motoristas com menos de trinta anos dirigem menos de 15% dos grandes caminhões americanos, mas que 30% dos motoristas de grandes caminhões envolvidos em acidentes pertencem a essa faixa de idade. Motoristas com menos de 25 anos e mais de 64 anos mostraram taxa de acidentes fatais 2,2 vezes maior do que a de motoristas entre 25 e 64 anos. Em pesquisa

realizada na Califórnia, a relação entre as taxas de acidentes nas rodovias menos seguras e nas mais seguras chegou ser da ordem de seis. As rodovias sujeitas a menores taxas de acidentes foram as rurais interestaduais. Entre essas últimas, a maior taxa cabia às de sentido duplo (não divididas). A maior taxa geral foi encontrada nas vias expressas urbanas locais. Entre essas últimas, as maiores taxas couberam às de sentido duplo [GRAF e ARCHULETA, 1985].

O TRB-SR 211 [1986, p.324] aponta as seguintes tendências quanto à relação entre o tipo da rodovia e o índice de acidentes:

- As taxas de sinistros e de mortalidade são maiores para rodovias comuns de duas e três faixas do que para vias expressas;
- A taxa total de envolvimento em acidentes é maior para rodovias não federais do que nas que são financiadas pelo governo federal;
- A taxa de envolvimento em acidentes é maior para rodovias primárias de duas faixas do que para rodovias rurais interestaduais;
- Os índices de acidentes nas rodovias rurais com duas faixas são maiores do que nas rodovias rurais de quatro faixas;
- Os acidentes em rodovias rurais de duas faixas e dois sentidos são mais graves do que os que ocorrem em rodovias rurais e de sentido único;
- A ocorrência de ferimentos graves é maior em rodovias convencionais do que em vias expressas;
- As taxas de envolvimento e de mortes e a gravidade dos acidentes são maiores nas rodovias urbanas do que nas rurais.

O índice de acidentes varia ainda com o tamanho e a natureza da frota. Uma pesquisa sobre acidentes, de 1982, realizada pelo *BMCS-Bureau of Motor Carrier Safety* revela que frotistas que operavam entre 45 e mil veículos tinham índice de acidentes 20% superior aos dos frotistas com mais de mil veículos. CAMPBELL e CARSTEN constataram que frotas com menos de cinquenta caminhões tinham uma taxa de acidentes fatais mais do que duas vezes maior do que a das frotas com mais de cinquenta veículos [*apud* TRB-SR 211, p.114].

As taxas de acidentes fatais e com ferimentos são maiores para frotistas autorizados pela *ICC-Interstate Commerce Commission* do que para os não autorizados. Outros fatores que influem no índice de acidentes são o horário da viagem (acidentes noturnos costumam ser mais graves), a duração da viagem (as taxas são maiores para viagens locais do que para viagens interurbanas) e o tipo de cabine (cabines avançadas provocam mais acidentes e de maior gravidade do que as cabines convencionais) [TRB-SR 211, 1986, p. 325].

7.1.2. Diferenças operacionais entre DSR e SRC

Historicamente, a operação dos DSR-Duplos Semi-Reboques e dos SRC-Semi-Reboques Convencionais tem diferido de várias maneiras nos Estados Unidos. O TRB-SR 211 [1986, p. 325] registra as seguintes diferenças:

- Os *twins* usam ligeiramente mais as rodovias de múltiplas faixas e desenvolvem a maior parte de sua quilometragem em rodovias de sentido único. Esta diferença é favorável à segurança;
- Uma proporção ligeiramente maior da quilometragem dos DSR é rodada em viagens de longa distância; esta diferença favorece igualmente à segurança;
- Os *twins* têm utilização geográfica mais concentrada, particularmente no estados do oeste e meio-oeste;
- Os DSRs utilizam uma grande proporção de cavalos com cabines avançadas (menos seguras do que as convencionais);
- O uso dos *twins* distribui-se melhor ao longo das 24 horas do dia e grande parte da quilometragem é rodada de noite, o que aumenta a gravidade dos acidentes;
- Os DSRs desenvolvem quilometragens anuais muito maiores do que os veículos convencionais;
- Devido à sua maior capacidade cúbica e à sua aplicação na movimentação de mercadorias de baixa densidade, os *twins* americanos transportam mais carga (tanto em peso quanto em volume) do que os semi-reboques convencionais;
- Os DSRs levam uma grande percentagem de carga geral (mista) e uma menor proporção de carga pesada. A maior parte das carroçarias dos *twins* são do tipo furgão e só uma pequena fração é constituída por tanques e plataformas.

7.1.3. Gravidade de acidentes

Nem sempre a simples relação entre o número de acidentes ou mortes e a quilometragem total percorrido constitui indicador seguro. É preciso considerar também a gravidade dos acidentes. Esta questão é mais fácil de ser examinada, porque dispensa estimativas de exposição. Os acidentes com os DSRs têm sido considerados mais graves do que os que ocorrem com os SRCs, isto é, tanto uma maior proporção de acidentes com os duplos semi-reboques resultam em morte, quanto constata-se maior índice de morte por acidente envolvendo os DSRs. Já os SRCs envolvem-se em maior proporção de acidentes do quais resultam ferimentos.

Tais conclusões não são válidas porque as diferenças entre as gravidades dos acidentes com DSRs e SRCs encontradas na literatura são geralmente muito pequenas e quase sempre estatisticamente não significativas. Os estudos padecem das mesmas deficiências estatísticas que serão apontadas neste capítulo na revisão das pesquisas de taxas de acidentes², em particular, da falta de controle adequado sobre os possíveis efeitos do ambiente operacional [TRB-SR 211, 1986, p. 331].

Para suprir essas deficiências, os autores do TRB-SR 211 [1986, p. 133/134] realizaram uma pesquisa utilizando dados de acidentes do período 1976-1981 contidos no BMCS que resultaram em ferimento ou morte para composições de cinco eixos operadas por frotistas autorizados pela ICC, transportando carga geral em furgões.

2 Veja 7.2 e 7.3.

Para controlar as possíveis influências do ambiente operacional, os dados foram divididos em 32 categorias, representando todas as combinações possíveis de quatro regiões, quatro tipos de rodovias e dois tipos de uso da terra (rural ou urbano).

Constataram que os DSRs envolveram-se em 7,5% menos acidentes com ferimentos (valor estatisticamente significativo) e em 15% menos acidentes fatais (valor estatisticamente não significativo) do que seria de se esperar se a percentagem de envolvimento dos *twins* em acidentes graves fosse idêntica à dos semi-reboques convencionais.

A diferença no envolvimento em ferimentos foi atribuída principalmente aos acidentes em rodovias de um único sentido com quatro ou mais faixas, em área rural. Diferenças regionais, quando existiram, não foram muito acentuadas.

Provavelmente, a diferença mais notável foi que uma proporção significativamente mais alta de acidentes com DSRs não envolvia nenhum outro veículo, fator que explica parcialmente o menor índice de gravidade desses veículos.

Nos acidentes envolvendo caminhões e automóveis, a diferença da gravidade entre DSRs e SRCs foi pequena e, em nenhum caso, estatisticamente significativa.

7.1.4. Opiniões dos motoristas

A implantação do DSR não depende apenas da sua estabilidade, mas também da conscientização dos motoristas sobre a segurança operacional do veículo. Segundo pesquisa realizada por cinco sindicatos de motoristas e relatada pelo TRB-SR 211 [1986, p. 144], em geral, os condutores de veículos pesados americanos mostram uma clara preferência pelo SRC em relação ao DSR. Essa preferência, no entanto, torna-se consideravelmente mais fraca entre os motoristas com maior experiência com *twin trailer trucks*.

A maioria dos motoristas acredita que o SRC é mais seguro e que tem melhor desempenho nas rodovias. Os DSRs ganham preferência apenas nas operações nas cidades e nas curvas fechadas.

A situação que os motoristas associaram com maior frequência com os *twins* foi a oscilação das carretas, seguida pela amplificação traseira dos movimentos direcionais provocada pelos problemas de dirigibilidade devidos à distribuição das cargas.

Motoristas experientes de DSRs concordaram com os demais na maior parte das respostas, mas tendem a ver menos diferenças entre os veículos múltiplos e os convencionais em muitas situações (dificuldade para enxergar a traseira do veículo, freios, invasão do acostamento, aproximação de outros veículos em rodovias de duas faixas e dois sentidos, ultrapassagens etc). Solicitados a sugerir medidas para aumentar a segurança dos DSRs, a maioria dos motoristas mencionaram com maior frequência a distribuição de carga (colocar a carreta mais pesada na frente), alinhamento adequado de todas as unidades da composição e ajuste, manutenção e especificação dos freios.

7.2. Análises contidas no TRB-SR 211 [1986]

Embora a maioria deles padeça de algum tipo de falha metodológica, a literatura americana sobre o assunto registra dezenas de estudos comparando as taxas de acidentes dos DSR com as dos SRC. O TRB-SR 211 [1986], por exemplo, apresenta quinze análises comparativas menos recentes.

A esmagadora maioria desses estudos conclui que o *Twin Trailer Truck* é, no mínimo, tão seguro quanto o semi-reboque convencional. Os resultados, no entanto, são bastante contraditórios e nem sempre consistentes. As taxas de acidentes apuradas para os DSR variam de 0,50 até seis vezes as encontradas para os semi-reboques convencionais. Enquanto quase todos os estudos não encontraram diferenças significativas quanto à segurança das duas configurações, um deles, no entanto, concluiu que os *Twin Trailer Trucks* são muito menos seguros do que os semi-reboques [TRB-SR 211, 1986, p. 128].

Baseado em cinco dos quatorze estudos³ que julgou mais adequados para a comparação entre as duas configurações em condições razoavelmente semelhantes, o TRB-SR 211 [1986, p. 134] encontrou os seguintes resultados:

- Relações entre o envolvimento dos DSR e dos SRC em acidentes, nos três dos cinco estudos que mediram essa taxa: 0,98/1,06/1,12.
- Relação entre acidentes fatais dos DSR e os SRC nos três estudos que mediram esta taxa: 0,93/1,05/1,20.

Esses dados, colhidos para operação interurbanas de empresas de transporte de carga geral em rodovias rurais, levaram os autores do TRB-SR 211 [1986, p.135] a concluir que a taxa de envolvimento dos DSR por milha percorrida é igual ou apenas ligeiramente superior à dos semi-reboques. Essa ligeira degradação na segurança seria compensada por uma redução, estimada em 9% do número de viagens, devido à maior capacidade (em peso e, especialmente, em volume) desses veículos. As diferenças na gravidade dos acidentes também foram julgadas pequenas, especialmente porque uma fração significativa de sinistros com os DSR envolve apenas a última carreta e reflete a dificuldades de condução desse tipo de veículo⁴.

7.3. Análises mais recentes

Neste tópico, serão condensados estudos posteriores ao TRB-SR 211 [1986]. MINGO et al. [1991, p. 51 e 52] registram os realizados por JOVANIS et al. [1989], FHWA [1990] CAMPBELL et al. [1988] e JONES e STEIN [1988] Acresça-se a esta lista os trabalhos de CARSTEN [1987], do próprio MINGO et al. [1991]. SPARKS et al. [1986] e CHIRACHAVALA et al. [1984]. Esse último, embora anterior ao SR-211, não foi citado naquele estudo.

³ CHIRACHAVALA e O'DAY; GLENNON; YOO, REISS e MCGEE; BMCS; GRAF e ARCHULETA.

⁴ Ver capítulo 5.

7.3.1. Chirachavala et al. [1984]

A maioria das análises preocupa-se apenas em comparar as taxas de acidentes dos DSRs com as dos semi-reboques convencionais. Todavia, duas configurações podem apresentar as mesmas taxas de acidentes, mas uma configuração pode se envolver com mais frequência em ocorrências mais graves, isto é, com maior índice de mortes ou de ferimentos. Da mesma forma, determinadas configurações mostram-se menos seguras em determinadas classes de rodovias, condições ambientais, hora do dia etc. ou com alguma combinação específica desses fatores.

Uma das análises mais promissoras da questão foi realizada por CHIRACHAVALA et al. [1984]. Os autores utilizaram o método da análise de multivariáveis discretas para determinar que variáveis ou combinações de variáveis influem na taxa de acidentes para quatro configurações de veículos (caminhões sobre chassi, furgões semi-reboques, plataformas e tanques semi-reboques e veículos múltiplos).

Aplicando testes estatísticos (Pearson, Chi-Quadrado e Cochran-Mantel-Haensen generalizado) sobre os dados do BCMS de 1980, os autores analisaram o comportamento de dezoito variáveis previamente selecionadas, concluindo que dez delas eram significativas (a nível de significância de 0,05): [CHIRACHAVALA et al 1984, p.25]:

- Tipo de acidentes
- Configuração do veículo
- Formato da carreta
- Peso bruto do veículo
- Peso da carga
- Distância da viagem
- Classe da rodovia
- Condições do piso da rodovia
- Ambiente (rural ou urbano)
- Hora (dia ou noite)

As variáveis idade do motorista, experiência do motorista, tempo ao volante até a ocorrência do acidente, jornada de trabalho, hora do acidente, clima, e existência de rampas não se mostraram significativas.

Eis algumas conclusões da análise, válidas especialmente para os *doubles*:

- As taxas de mortalidade dos *doubles* e também dos semi-reboques convencionais estão relacionadas principalmente com o tipo de acidente, a classe da rodovia e a combinação desses fatores. Para acidentes com um único veículo, as relações para

tráfego urbano/rodovias rurais de um único sentido/rodovias rurais de duas faixas e dois sentidos foi de 2:1:1. Quando o acidente envolvia também um automóvel, essa relação era de 0,2:0,9:1.

- As taxas de ferimentos para os *doubles* são melhor explicadas por duas interações complexas envolvendo a classe da rodovia com o tipo do acidente e as condições ambientais. A colisão de dois veículos durante a noite em rodovia rural de sentido único e seca provoca taxa de ferimentos consideravelmente maior do que numa rodovia rural de duplo sentido; e isso acontece somente para os *doubles*.
- O efeito do peso bruto dos veículos foi considerado significativo para plataformas e tanques.
- A colisão de dois veículos, envolvendo pelo menos um *double*, tem taxas de fatalidade similares nas rodovias rurais de duplo ou de um único sentido. Essas taxas foram cinco vezes maiores do que as encontradas em rodovias urbanas. Esse tipo de colisão, quando ocorre em estrada de um único sentido, tem uma maior taxa de ferimentos à noite ou em pavimento seco do que em outras condições.
- Nas rodovias de um único sentido, a colisão entre automóveis e *doubles* tende a ser bastante grave, mais grave do que a colisão entre automóveis e outros tipos de veículos. Mas, no tráfego urbano, a colisão entre qualquer tipo de caminhão com um automóvel resulta em gravidade média, provavelmente, devido às menores velocidades.
- Nas rodovias rurais de dois sentidos, a colisão de um automóvel com qualquer caminhão é bastante grave sob quaisquer condições, particularmente à noite. Nas rodovias de sentido único, essas colisões são menos graves, exceto quando envolvem os DSRs.

7.3.2. Sparks et al [1986]

SPARKS et al. [1986] realizaram pesquisa sobre a segurança dos grandes caminhões para o organismo provincial *Saskatchewan Highways and Transportation*. A pesquisa constatou que os grandes caminhões que operavam naquela época naquela província canadense estavam envolvidos em um número absoluto muito pequeno de acidentes. Em termos relativos, porém, esse número tornava-se alto. Quando se calculava, no entanto, o número de acidentes por milhões de quilômetros rodados, esse índice era aproximadamente igual ao do resto da frota (0,713) e não fugia da média dos Estados Unidos (0,76).

Os fatores que mais contribuíram para o envolvimento dos grandes caminhões em acidentes foram as condições humanas (32%), isto é, desatenção, distração ou inexperiência do motorista, uso de bebida alcóolicas etc; e fatores ambientais (40%), isto é, animais ou cascalho na pista, pista escorregadia, obstrução da visão etc.

Somente 35% dos acidentes envolvendo grandes caminhões estavam de alguma forma relacionados com o tipo, configuração e estabilidade do veículo. Além do mais, nesses acidentes para os quais a configuração ou a estabilidade possa ter influído, não se pode afirmar que algum tipo de configuração seja sempre melhor do que outros.

Os dados oficiais não permitiram o levantamento do índice de acidentes por tipo de veículo. Foram, no entanto, levantadas estatísticas complementares do período 1983-1986

em cinco frotistas. Constatou-se que os *doubles* estavam sujeitos a um índice significativamente menor de acidentes do que os veículos com uma única carreta. A vantagem deve-se provavelmente muito mais aos diferentes padrões de utilização (isto é, tipo de rodovia), diferentes habilidades dos motoristas e diferentes idades dos equipamentos do que à diferença na configuração dos veículos.

Um semi-reboque convencional, além de mais velho, tendia a ser usado muito mais em rodovias rurais e secundárias e a ser dirigido por um motorista mais jovem e menos experiente. Por outro lado, os *doubles*, além de mais novos, eram operados mais em rodovias principais e de sentido único e dirigidos por motoristas mais experientes.

A maioria dos acidentes sérios envolvendo veículos articulados ocorreu nas áreas rurais. Isso resulta provavelmente das maiores velocidades de operação.

Esta é uma das raras análises que contém informações sobre a segurança dos *dollies* A. A pesquisa indica que os trens tipo B canadense têm menos problemas de estabilidade do que os *dollies* tipo A e tipo C. Esses dois últimos não mostram nenhuma diferença significativa nos riscos de estabilidade, mas há algumas evidências de que o trem tipo C provoca acidentes mais sérios do que o tipo A.

7.3.3. Carsten [1987]

Um dos mais completos estudos sobre a influência da configuração na segurança dos veículos de carga foi realizada por CARSTEN [1987]. Segundo o autor, não há nenhuma evidência conclusiva da existência de diferenças gerais nas taxas de envolvimento em acidentes fatais ou com ferimentos entre DSRs e SRCs. Essa conclusão, no entanto, é beneficiada pelo fato de que os *doubles* geralmente são operados num ambiente mais seguro. Há também fortes indicações de que os veículos que utilizam duas carretas têm um problema peculiar de tombamento, o que aumenta o índice de perdas materiais.

A conclusão geral do autor é que as características de dirigibilidade dos grandes caminhões refletem-se no seu padrão de acidentes. Em suma, as análises estatísticas de CARSTEN confirmam as conclusões da literatura técnica⁵ sobre os efeitos negativos da amplificação traseira de movimentos para configurações com uma ou mais carretas.

O fenômeno é particularmente severo em manobras de emergência, quando os movimentos do cavalo-mecânico podem se tornar bruscos e de grande amplitude. Mas podem ocorrer também outras situações, como em curvas fechadas (por exemplo, em rampas de saída de rodovias), ou mesmo em rodovias normais, se a velocidade for alta o suficiente. O maior efeito desse fenômeno é que a última unidade acaba atingindo seu limiar de tombamento antes da primeira.

5 Ver capítulo 5.

Motoristas bem treinados podem compensar apenas parcialmente essa dificuldade para dirigir veículos múltiplos. Provavelmente, melhorias na dirigibilidade dos *doubles* poderiam trazer benefícios significativos para a segurança.

Utilizando dados de acidentes do *UMTRI-University of Michigan Transportation Research Institute* (1980-1982) e do *NHSTA-National Highway Accident Sampling System* (1981-1984) e dados de exposição do *TIUS-Truck Inventory and Use Survey* (1982), o autor chegou às seguintes conclusões:

- Não existe nenhuma diferença nas taxas de envolvimento em acidentes fatais entre *doubles* e *singles*. No período 1980-82, a taxa para todos os veículos ficou em 7,2 envolvimento por 100 milhões de veículos-milha percorridas para as carretas convencionais e 7,6 para os *doubles*. Quando se consideram apenas os veículos do sistema ICC, essas taxas sobem respectivamente para 9,7 e 8,6.
- Quando se incluem os acidentes que resultaram pelo menos em um ferimento, os *doubles* mostram uma taxa ligeiramente inferior (115,5) à dos semi-reboques convencionais (123,2), mas a diferença é pouco significativa, especialmente porque não leva em conta o ambiente no qual os veículos estão sendo usados.
- Quando se leva em conta o ambiente operacional, conclui-se que as rodovias interestaduais rurais têm o menor índice de envolvimento em acidentes (2,9/100 milhões de veículos-milha percorridas). A segunda classe de rodovias mais seguras é a das urbanas interestaduais (3,6), seguida pelas urbanas não interestaduais (7,3). As mais inseguras são as rurais não interestaduais (8,6). Assim, se os *doubles* transitam mais tempo do que os *singles* em rodovias interestaduais, pode-se deduzir que a conclusão de que não existe diferença nas taxas gerais de acidentes não favorece os DSRs.
- Cerca de 48% dos acidentes fatais com os *doubles* ocorrem em rodovias de sentido único; esse número cai para 41% para os *singles*. Quando se computam todos os acidentes, cerca de 70% dos envolvimento dos veículos múltiplos ocorrem em rodovias de sentido único, contra apenas 52% para os veículos convencionais. Parte dessa diferença pode ser explicada pela amplificação traseira dos movimentos, que se torna mais perigosa em altas velocidades. No entanto, como não existem indícios de que as rodovias de sentido único são mais perigosas para os veículos múltiplos do que para os convencionais, o autor conclui que a maior exposição dos *doubles* constitui a melhor explicação para esse resultado.
- Quando se segmenta o total de acidentes por tipo, constata-se que os *doubles* mostram índices maiores de colisões com pedestres e ciclistas (9,8%, quando computado o primeiro evento danoso) em relação aos semi-reboques convencionais (7,8%). São também mais sujeitos a colisões com objetos fixos (9,6% contra 8,5%). Embora o primeiro tombamento seja menos freqüente nos *doubles* (5,6%) do que nos *singles* (6,1%), em 10,3% dos casos, o tombamento constitui o evento mais grave para veículos múltiplos e em apenas 9,7% dos casos isso acontece com os veículos simples.
- Os *doubles* envolvem-se em tombamento com mais freqüência (20,8% do total de acidentes) que os *singles* (16,7%). No entanto, a probabilidade de o tombamento

constituir o primeiro evento do acidente é menor para os *doubles* (5,1%) do que para os semi-reboques (6,2%)

- Os *doubles* envolvem-se mais em dobramentos, também chamados de efeito “L” (14,3% do total de acidentes) do que os *singles* (9,6%). Desse total, o dobramento constitui o primeiro evento em 12,5% dos casos para os *doubles* e em 7,3% dos casos para os *singles*. A probabilidade de que o segundo evento seja um dobramento é ligeiramente menor para os veículos múltiplos (1,8%) do que para os convencionais (2,3%).
- Os *doubles* mostram uma proporção menor de envolvimento em colisões (60,4%) do que os *singles* (76,7%). Isso aumenta seus percentuais de envolvimento em não-colisões, especialmente em tombamentos (19,1% contra 7,7% para os *singles*).
- Quando se analisam os danos materiais, o resultado é semelhante. Apenas cerca de 50% dos envolvimento dos *doubles* em danos materiais ocorrem em colisões, contra 73,2% para os veículos convencionais. Mas a probabilidade de tombamento dos *doubles* nesse tipo acidente é de 28,5% contra 6,8% para o conjunto trator mais semi-reboque.
- Cerca de 19,1% dos ferimentos ocorridos nos acidentes com *doubles* são de nível superior a 3, contra apenas 7,2% dos acidentes com veículos convencionais. Isso confirma que os tombamentos de veículos múltiplos estão quase sempre correlacionados com ferimentos graves.
- O derramamento de carga ocorre em 31% dos tombamentos dos *doubles* e em apenas 4% dos tombamentos veículos convencionais.

7.3.4. Campbell et al. [1988]

Em 1988, CAMPBELL et al., citados por MINGO et al. [1991, p. 52] e pelo TRB-SR 223 [1989, p. 101], analisaram as estatísticas da *TIFA-Trucks Involved in Fatal Accidents* do período 1980 a 1984 e da *National Truck Trip Survey* de 1985.

Os autores concluíram que o envolvimento das carretas duplas em acidentes fatais era 7% menor que o das carretas convencionais. No entanto, após ajustes nos padrões de viagem, para levar em conta o tipo de rodovia e a hora do dia, a taxa dos *doubles* mostrou-se 10% maior.

7.3.5. Jones e Stein [1989]

Em estudo realizado para o *IHS-Insurance Institute for Highway Safety*. JONES e STEIN [1989], citados por MINGO et al. [1991, p. 52], pelo TRB-SR 223 [1989, p. 101 e 104] e por JOVANIS et al. [1989, p. 19 e 20] usaram uma metodologia de controle por caso para analisar todas as colisões em duas rodovias interestaduais no Estado de Washington de 1984 a 1986, envolvendo todos os caminhões com mais de 10 mil libras, de cujos acidentes tenham resultado feridos, ou perdas de mais de US\$ 1 500.

Cada caminhão envolvido em colisão foi confrontado com uma amostra de controle de três caminhões selecionados aleatoriamente do fluxo de tráfego, na mesma

hora do dia e no mesmo local do acidente, uma semana depois. A distribuição da configuração dos veículos acidentados foi comparada com a da amostra de controle para determinar as taxas relativas de envolvimento.

Concluiu-se que, independente do tipo de acidente (colisão simples ou múltipla), características de operação (carga e tamanho da frota), características do motorista (idade, horas de trabalho etc), as taxas de acidentes do DSRs eram duas ou três vezes superiores às dos semi-reboques convencionais e que essas diferenças eram estatisticamente significativas e suficientemente grandes para suplantarem qualquer efeito positivo da redução do número de viagens resultante da utilização dos *twins*, estimada em 9% pelo TRB-SR-223 [1989, p. 104/105].

O objetivo do método utilizado foi minimizar os efeitos do ambiente operacional e da hora do dia, facilitando a identificação dos efeitos da configuração do veículo. O estudo do IIHS, no entanto, é o único que concluiu pela existência de um acentuado efeito da configuração do veículo e de pequeno ou nenhum efeito de outros fatores, como o tipo da colisão e a hora do dia. Além do mais, esta metodologia exige cautela na generalização dos resultados, que são extremamente sensíveis à forma de selecionar o grupo de controle e à sua representatividade [TRB-SR 223, 1989, p. 104].

7.3.6. Jovanis et al. [1989]

JOVANIS et al. [1989] utilizaram estatísticas de viagens e acidentes fornecidos por grandes transportadores de cargas fracionadas (*LTL-less than truckload*) e a técnica dos dados emparelhados. Como trabalharam com estatísticas fornecidas por poucos frotistas e para estradas onde operavam tanto semi-reboques duplos quanto convencionais, os autores declararam que conseguiram controlar as variáveis relativas às rodovias, ao tráfego e ao meio-ambiente.

Um dos méritos do estudo é ter segmentado a comparação das taxas de acidentes por tipo de rodovia. A divisão inclui rodovias com acesso controlado (vias expressas), rodovias com acesso não controlado, vias locais (ruas) e parques de estacionamento.

Eis algumas das conclusões:

- Computados os três anos, os *doubles* mostraram taxa de acidentes (3,52 acidentes por milhão de veículos-milha) cerca de 10% menor do que a dos *singles* (3,83), uma diferença que é estatisticamente significativa, quando se aplica o teste *t* sobre a diferença da média. O resultado só não é favorável aos veículos combinados no ano de 1984 (4,56 para os *doubles* contra 4,26 para os *singles*), fato que os autores atribuem a uma “curva de aprendizado” da utilização desses veículos especiais.
- Nas rodovias de acesso não controlado, as taxas de acidentes foram cinco a sete vezes maiores, mas repete-se o mesmo padrão. Na média, os *doubles* (18,80 acidentes por milhão de veículos-milha) mostram-se mais seguros do que os *singles* (28,45). No ano específico de 1984, os veículos múltiplos (22,48) revelaram-se muito mais

inseguros do que os convencionais (8,43).

- Nas vias locais, computado todo o período, os *doubles* (9,96) mostram-se mais seguros do que os *singles* (15,65). Quando se computa apenas o ano intermediário de 1984, os *doubles* mostram-se novamente mais inseguros do que os *singles* (9,39). O índice de acidentes para esse tipo de rodovia (vias locais) é menor do que para as rodovias de acesso não controlado e maior do que para as rodovias de acesso controlado.
- Computado todo o período, os *doubles* (0,24) revelaram-se muito mais seguros do que os *singles* (0,70) nos pátios de estacionamento. Mesmo no ano específico de 1984, a diferença a favor do veículo combinado foi significativa.

7.3.7. Estudo da FHWA [1990]

O estudo da *FHWA-Federal Highway Administration*, de 1990, consistiu num programa voluntário de coleta de dados no qual muitos Estados coletaram estatísticas de viagens em trechos selecionados de seu sistema rodoviário e enviaram ao órgão os correspondentes envolvimento em acidentes. Durante 1988, quatro Estados forneceram alguns dados do sistema de rodovias interestaduais rurais, embora no período de 1983 a 1988 um total de treze Estados tenham fornecido informações de períodos que variaram entre seis meses e seis anos.

Uma média não ponderada de todos os dados indicou que os *doubles* se envolveram 10% menos em acidentes fatais do que os veículos convencionais, no sistema interestadual rural; e em 20% a mais de acidentes fatais em outras artérias rurais principais; e que esse índice variou aleatoriamente para outros sistemas, para os quais havia poucos dados.

7.3.8. Mingo et al. [1991]

{ Para MINGO et al. [1991 p. 50], pode-se esperar que, devido às suas características operacionais, os veículos múltiplos sejam mais inseguros do que os convencionais. Não só são menos estáveis como mais difíceis de frear com segurança, têm dificuldades de se manter dentro da trajetória e estão mais sujeitos às forças ambientais. }

Os estudos sobre as taxas de acidentes, no entanto, não têm confirmado essa expectativa e têm produzido resultados conflitantes. Em seu estudo, MINGO et al. { 1991 p. 50} apresentam uma ampla análise crítica dos trabalhos anteriores, muito deles citados no TRB-SR-211 [1986]⁶.

Muitos desses estudos têm sido prejudicados pelas deficiências estatísticas e pela falta de confiabilidade. Muitos foram baseados em amostras pequenas. Outros compararam taxas de veículos que operam em ambientes diferentes ou sob condições

6 Entre eles, os de GRAF e ARCHULETA [1985], GLENNON [1981], CHIRACHAVALA E O'DAY, JOVANIS et al. [1989], CAMPBELL et al. [1988] e FHWA [1990].

especiais. Juntas, as estatísticas não confiáveis, amostras pequenas e grandes diferenças na maneira de usar os veículos têm produzido grande dispersão nas estimativas.

Depois de descartarem as estatísticas estaduais (por inconsistência, lacunas e falta de padronização) e as fornecidas por frotistas (a amostra é pequena, as operações são heterogêneas e os dados estão sujeitos a distorções, intencionais ou não), MINGO et al.[1991] recorreram aos registros federais e acabaram escolhendo as estatísticas da TIFA e da FARS para os acidentes e as da FHWA (na qual realizaram ajustes) e da TIUS para as exposições. Outra vantagem da pesquisa de MINGO et al. [1991] é que foi realizada oito anos após a promulgação do STAA-82, quando a metodologia já havia avançado bastante e a frota de *twins* já era bem maior.

Comparadas com o número de viagens da FHWA, as estatísticas da FARS de 1988 indicam que a taxa de envolvimento em acidentes fatais dos *doubles* (5,876/100 milhões de milhas percorridas) foi 22% maior do que a dos *singles* (4,835). Na Califórnia, de longe, o Estado onde era maior a utilização dos *doubles*, esse índice chegou a 9,032, e foi muito maior, portanto, do que a média nacional [MINGO et al., 1991].

Além do mais, os *doubles* tiveram na Califórnia uma taxa de envolvimento em acidentes fatais 98% maior do que a do conjunto cavalo mais semi-reboque. Ao contrário de outros Estados, a Califórnia já utilizava os *doubles* há muitos anos. Por isso, os veículos tornaram-se familiares aos motoristas e ao policiamento rodoviário e a sua taxa de acidentes tem aumentado. No país como um todo, o índice de acidentes fatais com veículos múltiplos foi 47% superior à dos semi-reboques simples. Esse resultado confirma a hipótese de que muitos *doubles* envolvidos em acidentes são confundidos com outros tipos de veículos ou classificados como “desconhecidos” [MINGO et. al., 1991, p.57].

A conclusão do artigo é que o uso das melhores fontes disponíveis indica que os veículos múltiplos são 1,5 vezes mais inseguros do que os semi-reboques convencionais e que as mesmas taxas elevadas podem ser esperadas em operações similares, devido às características de operação inferiores dos *doubles* [MINGO et al , 1991, p. 59].

No entanto, na discussão que acompanha o artigo, W.D. GLAUZ atribui o alto índice de acidentes na Califórnia à peculiar configuração dos veículos, inexistente em outros Estados. Excluída a Califórnia, os *doubles* mostrariam índice de acidentes de apenas 93,9% do das carretas convencionais [MINGO et al, 1991, p. 60].

7.4. Resumo e comentários

1. É muito difícil comparar taxas de acidentes de duas configurações de veículos. Algumas dessas dificuldades estão relacionadas com as deficiências das estatísticas de acidentes ou de exposição (amostra muito pequena, tendenciosa, erros ou omissões na coleta de dados, falta de informações etc). Outras relacionam-se com a dificuldade de se controlar outros fatores que influem sobre a taxa de acidentes tanto ou mais do que a própria configuração. Entre elas, as condições do motorista (distração, efeito de bebidas

alcóolicas ou drogas, inexperiência etc) ou ambientais (animais na pista, pista escorregadia, visão obstruída, chuva, neblina, dia ou noite, e etc) e o tipo da estrada (via expressa, rodovia de duas faixas dois sentidos, tráfego rural ou urbano etc). Assim, as diferenças atribuídas à configuração precisam ser isoladas dos grandes e capciosos efeitos de tais fatores. Dificilmente uma análise de acidentes atinge integralmente tal objetivo./

- 2./ As taxas de acidentes registradas para os DSRs variam de 0,5 até três vezes as taxas determinadas para os semi-reboques convencionais. A esmagadora maioria dos estudos, porém, não mostra diferenças significativas entre as taxas de acidentes das duas configurações. Esses estudos convergem para a conclusão de que as taxas de acidentes e de gravidade dos *twins* são, quando muito, apenas ligeiramente maiores (algo da ordem de 12%) do que as taxas dos semi-reboques convencionais, quando operando em condições similares. Uma parcela significativa dessa diferença pode ser atribuída à amplificação traseira dos DSRs, que deve responder por cerca de 10% dos acidentes com essa configuração.
3. Geralmente, os *twin trailer trucks* são operados por frotistas que executam bons programas de segurança e certamente escolhem os melhores motoristas para dirigi-los. O treinamento dos motoristas certamente se constitui na área mais promissora para a implantação de programas e políticas de segurança de veículos múltiplos. De qualquer maneira, motoristas bem treinados podem compensar apenas parcialmente as dificuldades para se dirigir esses veículos. Provavelmente, melhorias na dirigibilidade dos *doubles* poderiam trazer benefícios significativos para a sua segurança.
4. Os frotistas tendem a empregar os DSRs de maneiras diferentes (principalmente, em aplicações especiais, que exigem autorização especial de trânsito) e em áreas geográficas diversas daquelas nas quais utilizam os veículos convencionais. Nos Estados Unidos, os duplos semi-reboques são utilizados principalmente nas rodovias interestaduais e de sentido único. Nelas, as condições de segurança são melhores, mas os veículos podem desenvolver maiores velocidades, o que aumenta os riscos da amplificação traseira de movimentos. Pode-se concluir, portanto, que a igualdade nas taxas de acidentes não favorece os DSRs.
5. Uma fração significativa de acidentes com DSRs envolve apenas a última carreta e reflete as dificuldades de condução desse tipo de veículo. Há indicações de que as composições que utilizam dois semi-reboques têm um problema peculiar de tombamento, o que aumenta o índice de perdas materiais. Os resultados das análises de acidentes confirmam as conclusões dos estudos de dirigibilidade e estabilidade sobre os efeitos negativos da amplificação traseira de movimentos. O fenômeno é particularmente grave em manobras de emergência, quando os movimentos do cavalo podem se tornar bruscos e de grande amplitude. Mas pode ocorrer também em outras situações, como em curvas fechadas (como as existentes nas rampas de saída das rodovias) ou mesmo em retas, se a

velocidade for suficiente. O maior efeito desse fenômeno é que a última carreta acaba atingindo seu limiar de tombamento antes da primeira e do cavalo.

6. Algumas pesquisas indicam que os DSRs envolvem-se com menor frequência em colisões, o que aumenta seus percentuais relativos de envolvimento em não colisões, como tombamento e dobramento. Em compensação, acidentes com *doubles* tendem a apresentar maior gravidade (mais mortes ou ferimentos mais graves).
7. Algumas pesquisas mostram que os *doubles* estão mais sujeitos a colisões com pedestres e ciclistas e também com objetos fixos.
8. São escassas as pesquisas comparativas sobre segurança de acoplamentos. Na única disponível, há indícios de que o trem tipo *B* canadense é o mais seguro. O *dollies* dos tipos *A* e *C* não mostram resultados muito diferentes, mas o *dolly C* tende a provocar acidentes mais graves [SPARKS, 1986, p.115]. No entanto, essa conclusão, além de isolada, não parece consistente com os estudos de estabilidade e controle apresentados no capítulo 5, mostrando que o *dolly C* tem condições de estabilidade e controle equivalentes às do *B-train*.
9. De forma geral, as conclusões referem-se ao *dolly A*, acoplamento predominante nos *doubles* dos Estados Unidos.

CAPÍTULO 8

IMPACTO SOBRE PROJETO E CONDIÇÕES OPERACIONAIS DAS RODOVIAS

Composições maiores e mais pesadas, como as autorizadas nos Estados Unidos pelo STAA-82, podem potencialmente prejudicar o sistema rodoviário, acelerando sua deterioração, reduzindo sua eficiência operacional e encarecendo o projeto e a construção.

Esses impactos potenciais são de quatro categorias diferentes [TRB-SR 211, 1986, p. 157]:

1. Deterioração das instalações rodoviárias - A introdução de configurações diferentes das atuais pode acelerar a deterioração das rodovias e aumentar os custos das rodovias existentes. Os elementos de maior interesse são os pavimentos, as pontes, bueiros, os acostamentos e os acessórios laterais.
2. Operações rodoviárias - O uso crescente de combinações de veículos com maiores dimensões e diferentes características de dirigibilidade pode afetar a interação entre esses caminhões e outros veículos. Dentro de certas circunstâncias, a capacidade efetiva da rodovia pode ser reduzida e o tempo de viagem aumentado, reduzindo a eficiência geral da rodovia.
3. Projeto e construção de rodovias - O uso de maiores caminhões pode, eventualmente, exigir a construção ou reconstrução de rodovias com pavimentos

mais espessos, estruturas mais pesadas ou geometria mais tolerante¹ (por exemplo, faixas mais largas e rampas menores)./

- 4./ **Meio-ambiente** - A introdução de configurações mais pesadas de caminhões com características diferentes de operação pode aumentar o ruído e a poluição do ar , particularmente em locais adjacentes ao corredor por onde elas trafegam./

8.1. Fatores de equivalência de cargas

DSR e SRC, embora tenham ambos cinco eixos, podem apresentar esses eixos distribuídos de maneira diferente, isto é, mostrar diferentes configurações de eixos. Para se determinar como essas diferenças afetam o desgaste do pavimento, é preciso lançar mão do conceito de *Fatores de Equivalência de Cargas (FEC)*.

Os FEC permitem a conversão de aplicações de diferentes solicitações em um número equivalente de aplicações da solicitação-padrão, possibilitando o dimensionamento e a previsão do desempenho de pavimentos para o tráfego misto real. O conceito de equivalência de cargas é importante também para a alocação de responsabilidades sobre os custos de manutenção e restauração de rodovias, pois permite a comparação de danos causados por diferentes solicitações [FERNANDES JR., 1994 p. 51].

De maneira geral, os FEC podem ser expressos da seguinte forma [FERNANDES JR., 1994, p. 52]:

$$FEC = N_o/N_i$$

onde N_o é o número de aplicações admissíveis da solicitação-padrão; e N_i é o número de aplicações admissíveis da solicitação i , para a qual se quer determinar a equivalência.

Variando entre 0 e 1, a deterioração do pavimento pode ser definida como [FERNANDES JR., 1994, p. 53]:

$$DETERIORAÇÃO = (Estado Inicial - Estado Atual)/(Estado Inicial - Estado Final)$$

O estado final é que aquele que torna o pavimento inadequado para suportar o tráfego de veículos. A deterioração apresenta diferentes formas, com trincas por fadiga de revestimento ou deformações permanentes nas trilhas das rodas. O *Road Test*, realizado pela AASHO entre 1958 e 1962, introduziu o conceito de serventia, ou seja, a habilidade de uma seção de um pavimento de servir ao tráfego de automóveis e caminhões com elevados volumes e altas velocidades. A partir do modelo acima, o FEC pode ser definido como o número de repetições de uma dada solicitação necessário para produzir uma deterioração da mesma magnitude que a provocada pela solicitação-padrão. [FERNANDES JR., 1994, p. 53].

1 A Proposta Turner, de caminhões mais longos e com menor carga por eixo, para aumentar a produtividade e reduzir o desgaste dos pavimentos contraria esta hipótese, que só será verdadeira se forem aumentadas as cargas por eixo.

Os testes da ASHTO permitiram o desenvolvimento de relações estatísticas que ligam o desempenho de pavimentos observados com os volumes de tráfego de veículos, inclusive de caminhões com diferentes configurações de eixos. Esse teste determinaram Fatores de Equivalência de Cargas (FEC) para eixos simples em tandem duplo. Em 1986, a AASHTO estendeu os resultados para conjuntos de três eixos em tandem. Esses fatores variam fortemente com o peso, aproximadamente, segundo a quarta potência da relação entre a carga para a qual se deseja obter o fator e a carga padrão [TRB-SR 225, 1990, p. 72; TRB-SR 227, 1990, p. 159; FERNANDES JR., 1994, p.51] e também com os seguintes fatores:

- Agrupamento dos eixos, isto é, se eles são isolados ou em tandem;
- Espessura do pavimento, isto é, a espessura da laje de concreto ou, para o asfalto, o número estrutural, índice que depende da espessura das várias camadas do pavimento e das condições do solo²;
- Índice de servibilidade final. Normalmente, esse índice é tomado como 2,5 para rodovias principais e 2,0 para rodovias secundárias.
- Rigidez do pavimento (pavimentos rígidos ou flexíveis).

Outros fatores veiculares, não considerados pela ASHTO, que influem na vida útil da estrada estão relacionados com a interação dinâmica entre o veículo e o pavimento, como a velocidade de tráfego, características da suspensão (mecânica ou pneumática, por exemplo), tipo de pneu (*single* ou duplo, por exemplo) e pressão dos pneus, além da rugosidade da superfície [TRB-SR 225, 1990, p. 82].

A AASHO adota como padrão um eixo simples de 18 000 libras (18 kips). O efeito equivalente a uma passagem desse eixo sobre o pavimento é chamado um ESAL - *Equivalent Single Axle Load*.

Tanto para pavimentos rígidos quanto para flexíveis, o fator de carga equivalente para um eixo simples de 20 kips é de aproximadamente 1,5. Assim, cem passadas de eixo de 20 kips têm o mesmo efeito sobre a durabilidade do pavimento que 150 passadas de um eixo de 18 kips. No entanto, no caso do conjunto de dois eixos em *tandem*, o comportamento dos dois tipos de pavimento muda completamente, pois essa configuração tem um grande efeito deletério sobre o pavimento rígido. Por exemplo, o efeito de uma carga de 34 kips é apenas de cerca de 1,1 ESAL sobre o pavimento flexível e de cerca de 2,0 ESAL sobre um pavimento rígido.

Como a curva de esforços induzidos no pavimento flexível pela carga de um eixo simples é quase sempre senoidal, se os eixos estão suficientemente próximos, a tensão de

2 $SR = a_1 D_1 + a_2 D_2 m_2 + a_3 D_3 m_3$

SR = Número estrutural

D_i = Espessuras das camadas

a_i = Coeficientes estruturais

m_i = Coeficiente relacionado com a drenagem

O SN geralmente é tomado como igual a cinco nos cálculos de equivalência de eixos.

compressão causada por um eixo é compensada pela tração causada pelo outro [TRB-SR 211, 1986, p. 165].

Já para os pavimentos rígidos, as tensões se somam, aumentando o esforço líquido sobre o pavimento. Assim, segundo da Associação de Cimento Portland, o fator de carga combinada equivalente para dois eixos simples é cerca de 10 a 20% menor do que para um eixo em *tandem*. SILVEIRA [1982, p. 52 e 53], apresenta os fatores de equivalência constantes da *tabela 8-1* para pavimentos flexíveis com número estrutural 5, rígidos com espessura de 10 polegadas e ambos com servicibilidade final 2,5.

TABELA 8-1
FATORES DE EQUIVALÊNCIA PARA EIXOS SIMPLES E EM TANDEM

PESO KIPS	UM EIXO SIMPLES		UM EIXO TANDEM	
	PAV. RÍGIDO	PAV. FLEXÍV	PAV. RÍGIDO	PAV. FLEX.
2	0,0002	0,002		
4	0,002	0,003		
6	0,01	0,01		
8	0,03	0,03		
10	0,08	0,09	0,01	0,01
12	0,18	0,19	0,03	0,01
14	0,34	0,36	0,05	0,03
16	0,60	0,62	0,08	0,05
18	1,00	1,00	0,13	0,08
20	1,58	1,51	0,20	0,12
22	2,38	2,18	0,30	0,18
24	3,45	3,03	0,44	0,26
26	4,85	4,09	0,62	0,36
28	6,61	5,39	0,85	0,50
30	8,79	6,97	1,14	0,66
32	11,43	8,88	1,50	0,86
34	14,59	11,18	1,95	1,09
36	18,33	13,93	2,48	1,38
38	22,74	17,20	3,12	1,70
40	27,91	21,08	3,87	2,08
42	-	-	4,74	2,51
44	-	-	5,75	3,00
46	-	-	6,68	3,55
48	-	-	8,31	4,17
Pavimento flexível: número estrutural 5, servicibilidade final 2,5				
Pavimento rígido: espessura 10 polegadas, servicibilidade final 2,5				
Fonte: SILVEIRA [1981, p. 52, 53]				

8.1.1. Comparação do TRB-SR 225 [1990]

Comparando, com base nos fatores de equivalência, os desgastes provocados por um semi-reboque de cinco eixos e por um duplo semi-reboque, ambos com 80 kips de peso bruto, o TRB-SR 225 [1990, p. 78] obteve os resultados da *tabela 8-2*.

/ Constatase, portanto, que, no caso do pavimento rígido, o desgaste total é praticamente o mesmo. Admitindo-se que o DSR reduza em 9% o número de viagens, conclui-se que a durabilidade do pavimento seria melhorada com a adoção desse veículo. Já no caso do pavimento flexível, a substituição do semi-reboque convencional pelo *twin* levaria a um aumento de desgaste de 70,9%. Mesmo computada a redução de 9% no número de viagens, esse índice ainda fica em 56,8%. /

TABELA 8-2
IMPACTO DO DSR SOBRE O PAVIMENTO SEGUNDO SR-225

CONFIGURAÇÃO	PESO	PAVIMENTO	
	(KIPS)		
		<i>FLEXÍVEL</i>	<i>RÍGIDO</i>
SEMI-REBOQUE CONVENCIONAL			
Eixo dianteiro	12	0,19	0,17
Tandem do cavalo	34	1,09	1,95
Tandem da carreta	34	1,09	1,95
TOTAIS	80	2,37	4,07
DUPLO SEMI-REBOQUE			
Eixo dianteiro	9	0,05	0,06
Eixo do cavalo	20	1,51	1,58
Eixo da primeira carreta	19	1,24	1,26
Eixo do dolly	16	0,62	0,60
Eixo da segunda carreta	16	0,62	0,60
TOTAIS	80	4,05	4,09
SN = 5 Servicibilidade final = 2,5 Espessura do pavimento = 10 polegadas			
FONTE: SR-225 [1990, p. 78]			

8.1.2. Comparação do TRB-SR 221 [1986]

/ Em estudo de equivalência específico, o TRB-SR 211 [p. 159 e 160], conclui que, embora os *twins* americanos devam operar com a mesma carga por eixo e os mesmos limites de peso bruto dos semi-reboques convencionais, seu uso crescente pode acelerar o desgaste do pavimento e, assim, aumentar as exigências de manutenção, devido às seguinte razões: /

- Em média, os DSRs pesam mais do que os SRCs a que eles substituem. / A capacidade cúbica adicional dos DSRs permite cargas líquidas mais altas. Além

disso, a tara dos *twins* americanos é, em média, sempre mais alta do que a dos semi-reboques convencionais. Cargas líquidas mais altas reduzem o número de viagens, o que tende a compensar apenas parcialmente o aumento do desgaste do pavimento por viagem. As relações de projeto de pavimentos sugerem que esse efeito incremental na deterioração do pavimento aumenta em proporção bem maior do que a da elevação das cargas.

- O peso dos DSRs é distribuído de maneira menos uniforme do que o peso dos SRCs. Como a carga dos *twins* é dividida entre duas carretas, a possibilidade de pesos desiguais entre eixos é maior do que nos semi-reboques convencionais, o que aumenta o dano aos pavimentos.
- Os DSRs transferem seu peso ao pavimento através de uma arranjo diferente de eixos. Normalmente, um *twins* opera com quatro eixos simples (mais o dianteiro), enquanto o semi-reboque norte-americano comum tem dois conjuntos de eixos em tandem mais o dianteiro. Estudos de pavimentos flexíveis mostram que o uso de eixos simples é mais destrutivo do que o uso de eixos em tandem com a mesma carga por eixo. Nos pavimentos rígidos, ocorre o inverso, mas a diferença não é grande.

8.1.2.1. Efeito dos eixos mais pesados

Comparados com os semi-reboques que substituem, os *twins* americanos, por comportarem maior volume, pesam 2 000 a 4 000 libras (900 a 1 800 kg) a mais e transportam cargas em média 1 000 a 2 000 libras (450 a 1 800 kg) mais pesadas.

Os efeitos sobre a vida do pavimento aumentam exponencialmente com a carga por eixo. Assim, se um semi-reboque de 60 000 libras é substituído por um *twins* de 66 000 libras, o gráfico da AASHTO³ mostra que o efeito sobre o pavimento da carga adicional de 6 000 libras será de 43% para pavimentos flexíveis e de cerca de 56% para pavimentos rígidos. Se o veículo mais pesado fizer 9% menos viagens, seu efeito cai para 30% para os pavimentos flexíveis e 42% nos pavimentos rígidos. Independente de outros efeitos, os *twins* americanos produzem um aumento líquido no desgaste do pavimentos, simplesmente porque eles têm, na prática, maior peso bruto [TRB-SR 211, p. 163/164]. Essa diferença de carga por eixo não aconteceria no Brasil.

No caso americano, como as densidades são baixas, tanto os DSRs quanto os SRCs trafegam geralmente com pbtc inferior ao limite legal (80 000 libras), enquanto aqui as densidades são mais altas e a tendência é para sobrecarregar os veículos. Além do mais, o DSR obedeceria às mesmas cargas por eixo e ao mesmo pbtc dos semi-reboques comuns com cinco eixos distanciados ou com seis eixo e às mesmas cargas por eixo de qualquer conjunto cavalo mais semi-reboque.

3 Para número estrutural igual a 3, servibilidade final igual a 2,5 e pavimento rígido com espessura de 9 polegadas.

8.1.2.2. Efeito da distribuição menos uniforme das cargas

Devido à relação exponencial entre desgaste do pavimento e o peso por eixo, o desgaste é minimizado quando os pesos são distribuídos uniformemente entre os eixos.

Os *twins* são carregados de maneira menos uniforme do que os SRCs, o que contribui para aumentar o desgaste dos pavimentos. Por exemplo, na faixa de 60 000 a 65 000 libras, dados da FHWA mostram que a relação entre as cargas do eixo mais pesado e do mais leve é de 1,20 para os SRCs e 1,32 para os *STTA-doubles* [TRB-SR 211, 1986, p. 154].

Em relação a um semi-reboque comum de 60 000 libras, uma desuniformidade dessa ordem aumenta em torno de 3% o desgaste do pavimento flexível e em torno de 7% o desgaste do pavimento rígido. Assim, mesmo que os *twins* americanos tivessem as mesmas cargas que os SRCs a que eles substituem, eles aumentariam o desgaste do pavimento devido à menor uniformidade das cargas [TRB-SR 211, 1986, p. 164/165].

8.1.2.3. Efeito da disposição dos eixos

Tanto os DSRs quanto os SRCs que eles substituem descarregam o grosso de carga em quatro eixos sob as carretas. A única diferença está em como esses eixos são espaçados. Nos *twins* americanos, esses eixos estão bem separados (geralmente, a distância mínima é 9 pés ou 2,75 m). Já nos semi-reboques convencionais, os eixos são agrupados aos pares, em dois eixos em tandem, onde o espaço entre os elementos de cada tandem é de 4 pés (1,22 m).

As relações de desempenho indicam que essa diferença na configuração afeta o desgaste do pavimento. Para pavimentos flexíveis, a diferença favorece o uso dos eixos em tandem (os fatores de carga combinada equivalente para dois eixos simples são geralmente 40 a 50% maiores do que para os eixos em tandem). Nos pavimentos rígidos, ao contrário, a diferença favorece os DSRs. Assim, há diferenças no desgaste do pavimento para DSRs e SRCs, devidas unicamente às diferenças de arranjos de eixos [TRB-SR 211, p. 165].

8.1.2.4. Efeito geral no desgaste do pavimento

O TRB-SR 211 [1986, p.166] ilustra o efeito geral do DSR sobre o desgaste do pavimento através de um exemplo onde um *twin* de 66 000 libras substitui um semi-reboque comum de 60 000 libras⁴. Das 6 000 libras adicionais, 3 000 são de peso morto e as outras 3.000 da carga. Admite-se que o veículo mais pesado fará 9% menos viagens do que o mais leve.

Para pavimentos flexíveis, a conclusão, com base no método da AASHTO, é que o desgaste do pavimento cresce 91% quando se substitui o SRC pelo DSR. Enquanto o peso adicional responde por cerca de 1/3 dessa diferença, o arranjo dos eixos é responsável por 1/2 dela, restando 1/6 para as maiores cargas por eixo.

⁴ Relembre-se que esta diferença resulta do fato de que as cargas têm densidades muito baixas e que o pbt de ambos, em geral, situa-se abaixo do limite legal de 80 000 libras. O DSR tem maior pbt devido não só à sua maior capacidade volumétrica como também devido ao seu maior peso morto.

Já nos pavimentos rígidos, também com ajuste para o menor número de viagens, os DSRs aumentam o desgaste em 31%. Nesse caso, o efeito é atribuído à combinação do maior peso e da menor uniformidade do carregamento, que mais do que compensa o efeito favorável da configuração dos eixos.

8.1.3. Comparação com base em SILVEIRA [1982]

A título de confirmação, será feito o cálculo comparativo dos desgastes produzidos pelos DSRs e *trucks* com base nas cargas por eixo adotadas pelo TRB-SR 211 [1986, p. 356 a 361] e em interpolações das tabelas reproduzidas de Silveira [1982, p. 52 e 53].

No caso do pavimento flexível, o aumento do desgaste chega a 101% (tabela 8-3). Descontando-se a redução de 9% no número de viagens, esse percentual ainda fica em 86%. Para o pavimento rígido, a diferença, quando se comparam os dois veículos, é de 27%. Descontada a redução do número de viagens, o aumento de desgaste provocado pela substituição de um SRC de 60 kips por um SRC de 66 kips cai para 16,5%.

TABELA 8-3
CONFIRMAÇÃO DO IMPACTO DOS DSRs

CONFIGURAÇÃO	PESO	PAVIMENTO	
	(KIPS)	<i>FLEXÍVEL</i>	<i>RÍGIDO</i>
SEMI-REBOQUE CONVENCIONAL			
Eixo dianteiro	9,6	0,09	0,07
Tandem do cavalo	27,5	0,49	0,79
Tandem da carreta	22,9	0,22	0,36
TOTAIS	60,0	0,80	1,22
DUPLO SEMI-REBOQUE			
Eixo dianteiro	9,8	0,09	0,07
Eixo do cavalo	17,2	0,85	0,84
Eixo da primeira carreta	13,7	0,33	0,32
Eixo do <i>dolly</i>	11,5	0,17	0,16
Eixo da segunda carreta	11,4	0,17	0,16
TOTAIS	66,0	1,61	1,55
SN = 5 Serviciabilidade final = 2,5 Espessura do pavimento = 10 polegadas			
CACULADO A PARTIR DE: SILVEIRA [1981, p. 52/53].			

8.1.4. Cálculo para o DSR nacional

Partindo-se da tabela 8-1, pode-se obter os fatores de equivalência aproximados da *tabela 8-4*:

TABELA 8-4
FATORES DE EQUIVALÊNCIA PARA CARGAS USUAIS

EIXO	CARGA (t)	CARGA (KIPS)	PAV. RÍGIDO	PAV. FLEXÍV.
Dianteiro	5,0	11	0,14	0,15
Simples	10,0	22	2,38	2,18
Tandem duplo	17,0	38	3,12	1.70
CALCULADO A PARTIR DE: SILVEIRA [1981, p. 52/53]				

No caso da carreta de dois eixos tracionada por cavalo de três eixos, o fator de equivalência soma 6,38 para o pavimento rígido⁵ e 3,55 para o pavimento flexível⁶. Para o DSR, a soma será de 9,66 para pavimentos rígidos⁷ e 8,87 para os flexíveis⁸. O DSR aumenta o desgaste do pavimento rígido em 51% e o desgaste do pavimento flexível em 150%, valores significativamente maiores do que a redução do número de viagens que proporciona. Caso houvesse redução de 20% no número de viagens com a adoção do DSR, esses percentuais seriam respectivamente de cerca de 25% e 125%.

Se o SRC tivesse os mesmos cinco eixos, mas os três eixos fossem distanciados, permitindo pbtc de 45 t, o fator de equivalência seria 9,66⁹ para pavimentos rígidos e 8,87 para pavimentos flexíveis, ou seja, exatamente os mesmos do DSR, pois, em termos de eixos, as duas configurações são idênticas.

8.1.5. Análise dos resultados

Os resultados obtidos pelo método AASHO para eixo em tandem são conflitantes com os resultados obtidos pelo método do corpo dos Engenheiros. De acordo com este último, as composições com eixos em tandem possuem “fatores de destruição” maiores que as composições com eixos simples¹⁰

5 $0,14 + 2 \times 3,12 = 6,38$

6 $0,15 + 2 \times 1,70 = 3,55$

7 $0,14 + 4 \times 2,38 = 9,66$

8 $0,15 + 4 \times 2,18 = 8,87$

9 $0,14 + 4 \times 2,38 = 9,66$

10 De acordo com o método do Corpo de Engenheiros, dois eixos de 10 t têm fator de equivalência 6,40 (2x3,20), enquanto um eixo tandem de 17 t tem fator de equivalência de 7,50. [FABBRI et al, s/d, p.245]

As conclusões acima não levam em conta a distribuição desigual das cargas entre eixos de um mesmo grupo. Segundo FERNANDES JR. [1995, p. 14], embora as suspensões de eixos em tandem sejam projetadas para distribuir a carga estática total equitativamente, na prática, dificilmente, eles recebem parcelas iguais de carregamento. Em pesquisa realizada na Inglaterra, MITCHELL [1987], citado por FERNANDES JR. [1995 p. 15] constatou que o eixo menos carregado suportava em média 60 a 70% da carga do eixo mais carregado e que, em alguns casos, esse valor não passava de 30 a 40%.

De todos os eixos em tandem duplo investigados por SOUTHGATE, DEEN e MAYES [1983, p.15] no Estado americano do Kentucky, apenas 10% apresentavam distribuição uniforme. A análise teórica de diferentes cenários de distribuição de carga entre os eixos de um mesmo tandem chegou a indicar um acréscimo de até 40% na deterioração dos pavimentos.

SWEATMAN [1983] citado por GILLESPIE et al. [1992, p. 30] chamou de Coeficiente de Distribuição de Carga (LSC) a relação entre a carga real suportada pelo eixo e a carga estática total dividida pelo número de eixos. Se a distribuição é perfeita, o LSC deve ser igual a 1. GILLESPIE et al. [1992, p. 30] afirmam que o LSC típico para suspensões em tandem de veículos pesados varia de 1,02 a 1,21 e aceitam LSC de até 1,25. Isso significa que, dentro dos limites legais em vigor no Brasil, um eixo do tandem pode atingir 105 kN, quando deveria suportar 85 kN.

Devido ao crescimento exponencial da deterioração dos pavimentos com o acréscimo das cargas por eixo, quanto pior a distribuição da carga em um tandem, maior essa deterioração, pois a redução obtida através do eixo menos carregado não é suficiente para compensar o acréscimo causado pelo eixo mais carregado. LSC maiores do que 1,10 produzem aumentos superiores a 5% no Fator de Equivalência de carga (FEC) [FERNANDES JR., 1995, p. 15].

Essa distribuição desigual, embora não seja capaz de anulá-la, contribui certamente para reduzir a maior deterioração do DSR em relação ao semi-reboque comum.

Embora tenha o mesmo limite de pbt que o SRC, na prática o *twin* americano opera com peso bruto superior ao do SRC, apesar de inferior ao limite legal, porque transporta maior volume e tem maior tara. Essa carga adicional aumenta o peso por eixo. Questões de segurança e de dirigibilidade exigem distribuição menos regular de cargas no *STAA-double*. Já a ausência do tandem nessa configuração é benéfica nos pavimentos rígidos, mas sobrecarrega os pavimentos flexíveis.

Dentro dos limites brasileiros de carga, devido especialmente à mudança de configuração dos eixos, a eventual troca do tandem por eixos isolados aumenta levemente o desgaste dos pavimentos rígidos e de maneira acentuada o desgaste dos pavimentos flexíveis. Se o veículo substituído, no entanto, fosse um conjunto de cavalo com dois eixos mais semi-reboque de 3 eixos distanciados, os desgastes seriam

idênticos. Além do mais, em termos de carga por eixo, o DSR estaria perfeitamente enquadrado na chamada “lei da balança”.

O aumento do custo de conservação em relação a algumas configurações mais leves (de 39 ou 42 t) seria mais do que compensado pela maior produtividade do transporte¹¹.

8.1.6. Aumento dos custos de conservação

Em condições reais, a substituição dos SRCs pelos DSRs reduz a vida útil dos pavimentos, em maior grau nos flexíveis e, em menor grau, nos rígidos. Esse acréscimo implica no aumento da frequência dos recapeamentos ou na construção de pavimentos mais espessos. Em ambos os casos, haverá acréscimos de custos. Estima-se em 2,945 milhões de ESAL-milha o aumento de desgastes dos pavimentos que seria trazido pelos *trucks* nos EUA em 1990. Em 1984, os recursos destinados ao trabalho de recapeamento, restauração, reabilitação e reconstrução (os chamados quatro R) foi de US\$1,9 bilhão, dos quais US\$ 1,6 bilhões no sistema rural interestadual, por onde trafegam os *trucks* [TRB-SR 221, p.167 e 168].

Assumindo-se que 70% desses recursos destinam-se a reparos dos pavimentos, em vez de melhorias no projeto geométrico ou nos acostamentos e que, dessa parcela, 70% estão relacionados com a carga, resultaria uma despesa total de aproximadamente US\$ 800 milhões anuais. Estatísticas da FHWA indicavam que, naquele ano, o desgaste total nas rodovias rurais interestaduais chegava a 50 bilhões de ESAL-milha, o que dá uma média de custo de 1,6 cents por ESAL-milha. Multiplicando-se esse valor pelos 2,945 milhões de ESAL-milha produzidos pelos DSRs, resulta um investimento adicional de cerca de US\$ 50 milhões. Ou seja, apenas cerca de 10% dos benefícios obtidos com o uso desses veículos [TRB-SR 211, p. 171].

O TRB-SR 211 [1986, p. 211] apresenta estimativas superiores aos 1,6 cents de dólar adotados no cálculo para o custo de 1 ESAL-milha de desgaste. WONG e MARKOV estimam os custos médios de reabilitação e de manutenção rotineira entre 0,9 e 4,9 cents/ESAL-milha para rodovias interestaduais, com diferentes valores, dependendo da região, tipo de pavimento (maior para o flexível do que para o rígido) e localização (maior para rodovia rural do que para urbana). Estimaram também que o custo de recuperação marginal e de manutenção de rotina para o mesmo grupo de rodovias seria de 0,7 a 2,9 cents/ESAL-milha.

Em um dos seus estudos de locação de recursos, a FHWA cita médias ilustrativas de 5 cents/ESAL-milha para rodovias rurais interestaduais, 15 cents para urbanas interestaduais, 13 cents para artérias rurais e 41 cents para artérias urbanas.

Em outro estudo, A FHWA cita a média 14,8 cents/ESAL-milha para investimentos adicionais em pavimentos.

11 Ver capítulo 9.

8.2. Deterioração de pontes e bueiros

Como as pontes e bueiros que haviam sido construídos antes da aprovação do STAA-82 tinham sido projetadas para suportar cargas maiores do que os limites legais de peso bruto, a introdução dos *twins*, com cargas apenas ligeiramente maiores do que as dos SRCs não aumentou consideravelmente o risco de colapso das estruturas. Falhas catastróficas de novas pontes ocorreram somente quando foram grosseiramente subdimensionados ou construídas de maneira inadequada [TRB-SR 211, 1986, p. 171].

No entanto, mudanças de pesos podem reduzir a vida útil residual através da aplicação repetitiva de cargas, o que pode ocasionar colapso por fadiga. A questão da segurança assume, assim, importância especial para velhas pontes, que podem ter sido construídas segundo padrões mais baixos e é normalmente administrada através da fixação de limites especiais de pesos pelas autoridades estaduais e locais [TRB-SR 211, 1986, p. 171].

Comparados com os SRCs, os DSRs americanos têm maior peso bruto, distribuem suas cargas de maneira menos uniforme sobre os eixos e transferem suas cargas à estrutura de maneira diferente.

Os primeiros estudos sobre o assunto geralmente não relacionam a deterioração de pontes e os seus custos de manutenção com tipos específicos de veículos pesados. Uma revisão dos procedimentos de projeto confirma a conclusão de que não ocorreria nenhuma mudança na deterioração de pontes e de bueiros devido à introdução dos DSRs a nível nacional [TRB-SR 211, p. 171]:

- O dimensionamento das fundações que suportam as pontes é ditado fundamentalmente pelo peso próprio da estrutura. Mudanças nos carregamentos, principalmente quando pequenos, têm efeito insignificante sobre as fundações das pontes existentes.
- Por serem mais compridos, os *twins* provocam na estrutura e nos tabuleiros das pontes esforços menores do que aqueles criados pelo trem-tipo padrão utilizado nos projetos (HS-20-44).
- Os bueiros são projetados dentro dos mesmos padrões de carga das pontes e para cargas pelo menos tão severas quanto as provocadas por um twin ou semi-reboque de 40 pés.

8.3. Acostamento e acessórios laterais

Os veículos rodoviários realizam um pequeno número de excursões involuntárias ao acostamento durante as operações normais e costumam fazer movimentos mais deliberados sobre essa área durante situações de emergência. Adicionalmente, o acostamento é usado para uma variedade de outras finalidades [WALLACE, 1982, p. 5]:

- Caminhões pesados estacionam rotineiramente nos acostamentos para verificar as cargas ou as condições mecânicas;
- Veículos freqüentemente usam o acostamento para retornar ou ultrapassar em cruzamentos;
- Veículos normalmente usam o acostamento como faixa adicional quando ocorrem congestionamentos de tráfego;
- Alguns Estados americanos permitem o movimento lento de veículos nos acostamentos para facilitar a ultrapassagem de veículos mais rápidos.

Todas essas manobras, embora aumentem a segurança, podem danificar as instalações e acessórios rodoviários localizados nas laterais das faixas de deslocamento. Mais especificamente, veículos pesados podem causar deterioração da superfície dos acostamentos, que freqüentemente não são construídos da mesma maneira ou com a mesma resistência dos pavimentos rodoviários [TRB-SR 211, p. 173]

Quando os veículos invadem o acostamento durante uma manobra de retorno, eles podem atingir sinalizações, meios-fios, ilhas e dispositivos protetores (*guardrails*), algumas vezes, particularmente a baixas velocidades, de maneira não severa o suficiente para forçar o veículo a parar, mas suficiente para danificar as instalações rodoviárias.

Em comparação com os SRSc que eles substituem, os DSRs podem acelerar esses efeitos sobre os acostamentos e acessórios rodoviários porque suas características de desempenho aumentam a freqüência das invasões do acostamento, ou porque seus eixos e configurações de carga são mais destrutivos para a superfície do acostamento [TRB-SR 211, 1986, p. 173].

8.4. Projeto e construção

Devido aos seus efeitos na segurança operacional, deterioração dos pavimentos ou eficiência operacional, a introdução de uma nova configuração de caminhões com dimensões e características de desempenho diferentes pode exigir a construção de novas rodovias ou mudanças na maneira de conservar e recuperar as existentes.

Embora o projeto de pavimentos seja bastante sensível às variações da composição do tráfego e as características dos veículos de carga, é desnecessária qualquer mudança nos procedimentos de projeto de pavimentos em decorrência da expansão do uso dos *trucks*. Da mesma forma, é desnecessário alterar os padrões e procedimentos de projeto de pontes e de outras estruturas rodoviárias. Ao contrário dos pavimentos, as pontes são pouco sensíveis a novas configurações. Os *trucks*, desde que operados dentro dos limites legais de peso bruto, produzem menores esforços nos componentes das pontes do que os padrões recomendados pela AASHTO para projeto de pontes interestaduais. Mais do que isso, geralmente, os esforços que provocam são menores do que os causados pelos semi-reboques convencionais. [TRB-SR 211, 1986, p.178 e 179].

/Já os padrões de projeto geométrico são influenciados em variados graus pelas características e desempenho dos veículos, particularmente pelo mínimo raio de giro, sobrelargura, comprimento, largura, freios, e taxa potência/peso. O projeto de muitas estradas, especialmente, é governado pelos caminhões, enquanto o mesmo não acontece em rodovias locais e vias urbanas. Para rodovias de categoria intermediária, alguns elementos do projeto são determinados pelos caminhões, outros não. Quando o projeto leva em conta os caminhões, geralmente, não é baseado na pior situação, mas principalmente nas características dos menores caminhões [TRB-SR 211, 1986, p. 179].

Mesmo nas rodovias federais, os padrões geométricos geralmente não são necessariamente concebidos para acomodar todos os caminhões em serviço no momento do projeto. Um semi-reboque de 55 pés, por exemplo, define a largura de rampas de acesso, apesar do seu uso também por combinações mais longas, que, algumas vezes, necessitam de maiores larguras em curvas. Essa recomendação está baseada aparentemente numa perspectiva de custo que vincula os projetos aos caminhões mais comuns e tolera aqueles cujos movimentos excedem as condições estabelecidas, o que, nesse caso, resulta em invasão do acostamento. Por razões semelhantes, aperfeiçoamentos geométricos nas rodovias existentes não são necessariamente executados no grau necessário nas rodovias novas ou reconstruídas [TRB-SR 211, 1986, p. 180].

Em resumo, os *twins* não tiveram nenhum efeito maior nos padrões de projeto e procedimentos rodoviários. Os projetos de pavimentos podem ser ajustados nas áreas onde se tornar evidente que há uso intenso dos *twins*.

No caso particular do DSR nacional, demonstra-se, com base em RUSSO [1995], que traria exigências geométricas menores do que semi-reboques comuns de um ou dois eixos, que têm circulação irrestrita no Brasil (ver 5.3.1).

8.5. Sobrelargura

/ Nas curvas, a trajetória das rodas de um veículo tracionado não coincide com as do veículo trator. A baixas velocidades, o percurso das rodas das carretas desvia-se para o lado interno da curva; em altas velocidades, devido à aceleração lateral, o desvio será para o lado externo.

/ O desvio de percurso pode causar a invasão potencialmente perigosa, pelo eixo traseiro, das faixas vizinhas ou do acostamento (com possível atropelamento da sinalização ou do meio-fio) ou estimular o motorista da composição ou outros motoristas a realizar manobras perigosas.

/ O fenômeno é chamado de arraste (*offtracking*) e medido pelo seu efeito, isto é, a criação de uma sobrelargura nas curvas (*figura 8-1*). O desvio de baixas velocidades é chamado de arraste positivo, enquanto o de alta velocidade é chamado de arraste negativo.

O arraste negativo não depende apenas de geometria da via, mas principalmente da velocidade e, em menor escala, da suspensão, pneus, carregamento do veículo, bem como da aderência dos pneus ao pavimento.)

A sobrelargura pode ser definida ou medida de várias formas. WHITESIDE et al. [1973, p.73] relacionam cinco definições diferentes que, para efeitos práticos, podem ser condensadas em três:

1. “Em geral, a sobrelargura é definida como diferença existente entre o percurso do primeiro eixo dianteiro interno e do eixo traseiro interno, quando um veículo ou uma composição de veículos realizada uma curva.”
2. “Sobrelargura é a diferença entre os seguintes raios: a) do centro de giro de veículo ao centro de giro mais avançado; e b) do centro de giro do veículo ao centro do último eixo do veículo ou combinação”.
3. “Sobrelargura é a diferença de raios de giro entre o pneu externo do primeiro eixo e o pneu externo do último eixo.”

FIGURA 8-1
ARRASTE NÃO UNIFORME, TRAJETÓRIAS EM TRANSIENTE

Fonte: GARLICK et al. [1993]

As três medidas têm o mesmo valor e diferem apenas quanto à fixação dos pontos de referência. Na *figura 8-2*, representando a trajetória em regime estacionário de um cavalo mecânico tracionando um semi-reboque, a sobrelargura é dada pela diferença entre os raios R_1 e R_3 .

Conhecidos o raio da curva (R_1), a distância entre eixos do cavalo (WB_1) e da carreta (WB_2) e a excentricidade do pino-rei (HL_1), os raios de giro da quinta roda (RH_1), do pino-rei (R_2) e do eixo traseiro do semi-reboque (R_3) são obtidos por simples aplicação do teorema de Pitágoras. A partir deles, obtém-se a sobrelargura.

$$R_2^2 = R_1^2 - WB_1^2 \quad (8-1a)$$

$$R_3^2 = RH_1^2 - WB_2^2 \quad (8-1b)$$

$$R_3^2 = RH_1^2 - WB_2^2 \quad (8-1c)$$

$$OT = \text{arraste máximo} = R_1 - R_3 \quad (8-1d)$$

Vale notar que a fórmula acima contém algumas simplificações. Em primeiro lugar, admite que as bitolas do cavalo mecânico e das carretas são as mesmas, o que, quase sempre, não é verdade (a carreta, geralmente, é mais larga do que o cavalo).

Em segundo lugar, admite-se que o primeiro e o último eixo estão muito próximos das extremidades do veículo, o que nem sempre é verdade. Assim, os balanços dianteiros de caminhões de cabine semi-avançada¹² levam a acréscimo na sobrelargura. Já os caminhões de cabine avançada têm menor balanço dianteiro. Portanto, seria conveniente substituir, nas definições, o pneu dianteiro externo pelo canto externo mais avançado do veículo.

12 Caminhão com o motor situado na frente da cabine (*engine forward the cab*), também chamado popularmente de caminhão “bicudo” ou “focinhudo”. Esse tipo de cabine é também chamada de convencional. Já o caminhão de cabine avançada tem a cabine situada diretamente sobre o motor (*cab over engine*) e é popularmente chamado de “cara-chata”.

FIGURA 8-2
REPRESENTAÇÃO DA TRAJETÓRIA EM REGIME DE ARRASTE CONSTANTE

Fonte: Fancher & Mathew [1987]

[FONG e CHENU [1986, p. 28] apontam duas deficiências adicionais para as definições correntes:]

- A sobrelargura continua a existir depois que o veículo completa a curva;
- A trajetória torna-se bastante complexa quando o veículo faz uma curva reversa de diferentes raios.

[A partir daí, sugerem uma definição mais geral e flexível. Para eles, sobrelargura é a variação entre a trajetória de um ponto do eixo direcional ao ponto correspondente do eixo subsequente que tiver a maior variação, quando medida transversalmente ao percurso do eixo frontal.]

[HEALD [1986, p. 47] também aponta como limitação das definições tradicionais o fato de não levarem em conta o transiente entre o valor nulo e o valor estacionário da sobrelargura no início da curva o transiente oposto no final da curva. Por isso, o autor prefere conceituar sobrelargura como “o fenômeno que ocorre quando eixos traçados de um veículo numa curva desloca-se progressivamente através do centro da curva até alcançar

um estado máximo estacionário em relação ao eixo direcional”. Em suma, a sobre largura no estado estacionário é, obviamente, sinônimo da sobre largura “máxima”.

/ A sobre largura pode ser determinada através do estudo da trajetória que os vários tipos de veículos descrevem ao fazer uma curva horizontal e depende bastante das características geométricas e mecânicas do veículo. Entre elas, o comprimento total, balanços dianteiro e traseiro, distâncias entre eixos (ou entre centros de eixos, no caso de conjunto de eixos), bitolas, largura dos veículos e ângulo de deflexão da direção [SETTI e WIDMER, 1993, p. 40]. /

/ A sobre largura varia diretamente com a distância entre eixos e inversamente com o raio de giro. Em veículos combinados, o valor da sobre largura é afetado pelo número e localização das articulações, pelo comprimento do arco da curva, pelo tipo de curva e pela velocidade de giro das rodas. A habilidade dos motoristas, pressão e condições dos pneus, cargas no eixo direcional, grau de superelevação, velocidade e direção dos ventos, velocidade de aproximação do veículo e condições do pavimento também afetam a sobre largura [WHITESIDE et al., 1973, p. 73]. /

A sobre largura é determinada utilizando-se cinco métodos gerais [FONG e CHENU [1986]:

- Através de um instrumento gráfico chamado *Tractrix Integrator*;
- Através de métodos analíticos (fórmulas matemáticas);
- Através de observações de campo;
- Através de modelos cinemáticos;
- Através de modelos de computador.

8.5.1. *Tractrix*¹³ Integrator

Trata-se de um instrumento gráfico, utilizado, por exemplo, pelo Departamento de Transportes da Califórnia (Caltrans), que simula a composição veicular através de um modelo reduzido e desenha a trajetória de um ponto escolhido. O método tem várias desvantagens [FONG e CHENU, 1986, p. 21]:

- Pouca precisão. A variação mínima da escala é 5 pés, ou cerca de 15 cm. Não permite, por exemplo, estudar a variação da sobre largura com a posição do pino-rei, sempre admitido como localizado diretamente sobre o centro do eixo traseiro.
- Utilização demorada e tediosa, pois a determinação do percurso de cada ponto exige o deslocamento manual do ponteiro sobre a curva de percurso do centro do eixo da unidade da frente.

13 *Tractrix* é a curva definida pela extremidade interna do eixo traseiro de uma composição [RUSSO, 1995, Glossário].

- Permite a obtenção apenas das trajetórias de pontos centrais. Os trajetos de pontos de especial interesse, como rodas externas, cantos do balanço dianteiro e cargas largas, devem ser determinados posteriormente.
- Apresenta erros, provavelmente causados por imprecisão mecânica ou desgaste excessivo, que provocam ligeiro aumento na sobrelargura, maior para curvas à direita do que para curvas à esquerda.

8.5.2 Observações de campo

Trata-se de um método que trabalha em escala real. Costuma-se realizar ensaios com veículos típicos para determinar experimentalmente as correções necessárias nos raios mínimos de giro. A trajetória de três pontos relevantes (pneu dianteiro externo, pneu traseiro interno e ponto dianteiro mais saliente) é determinada através de dispositivos que gotejam tinta [SETTI e WIDMER, 1993, p. 43].

8.5.3. Determinação matemática da sobrelargura

A determinação matemática da sobrelargura de um veículo unitário, desenvolvida pela SAE, na década de sessenta e apresentada em 1964 pelo *SAE Handbook*, baseia-se na solução do triângulo formado pelo raio de giro do eixo dianteiro, do eixo traseiro e da distância entre eixos, quando a composição desloca-se numa curva:

$$\overline{OT} = \sqrt{WB^2 + (\sqrt{TR^2 - WB^2} - HT)^2} - \sqrt{TR^2 - WB^2 + HT^2} \quad (8-2)$$

OT = Sobrelargura em estado estacionário de um veículo unitário

WB = Distância entre eixos

HT = Metade da distância entre eixos

TR = Raio de giro

Além da dificuldade de se aplicar esta fórmula a curvas compostas, este método fornece apenas o valor máximo da sobrelargura e não indica com facilidade o ponto onde esse valor ocorre. Ela não se aplica também a curvas fechadas onde o raio de giro seja menor que a distância entre os dois extremos. Além disso, só vale para o estado estacionário, quando a extensão projetada de todos os eixos fixos do veículo formam um triângulo retângulo com o veículo, onde a hipotenusa é o raio de giro e o ângulo reto é formado pela base de rodas do veículo e o raio de curvatura no centro do eixo tracionado. Se o grau da curva é menor do que o necessário para alcançar o estado estacionário, os resultados obtidos a partir das fórmulas serão sempre superestimados. Isso também ocorrerá quando o centro da curva cai entre o percurso do eixo traseiro e a própria curva. [HEALD, 1986, p. 47/48].

Como a localização da máxima sobrelargura não pode ser determinada, a fórmula não se aplica a situações onde o veículo traciona fora da curva antes que o máximo valor seja

atingido, isto é, curvas de pequenos ângulos. O resultado torna-se indeterminado se a trajetória do eixo mais traseiro dirige-se para o centro da curva, como é o caso de curvas de raios pequenos [FONG e CHENU, 1986, p. 21].

A equação pode ser posta numa forma mais curta, aplicável também a veículos combinados, desenvolvida pelo *Western Highway Institute*, também na década de sessenta, que despreza a metade da distância entre eixos:

$$MOT = R_1 - \sqrt{R_1^2 - (L_1^2 + L_2^2 + L_3^2 + L_4^2 + L_5^2 + \dots)} \quad (8-3)$$

R_1 = Raio de giro da roda dianteira externa

L_1 = Distância entre eixos do cavalo mecânico

L_2 = Distância entre eixos do primeiro reboque ou semi-reboque.

L_3 = Distância entre o eixo traseiro e ponto de articulação (pino de engate)

L_4 = Distância entre o ponto de articulação e o eixo dianteiro da próxima carreta

L_5 = Distância entre eixos da segunda carreta

De forma ainda mais simplificada, a fórmula fica:

$$MOT = R_1 - \sqrt{R_1^2 - \sum (L)^2} \quad (8-4)$$

Na aplicação desta fórmula, deve-se tomar o cuidado de transformar em negativos (valor a ser deduzido do somatório) o quadrado do balanço traseiro (L_3), que contribui para reduzir o arraste. Da mesma forma, deve-se deduzir o quadrado do avanço da quinta roda, que, embora pequeno, tem o mesmo efeito [RUSSO, 1995, p. 106].

8.5.4. Determinação cinemática da trajetória

GARLICK [1993, p. 7 a 21] apresenta um modelo cinemático para determinar a trajetória de um veículo tracionado, inclusive durante o transiente, baseado na solução do *problema da perseguição constante*.

O traçado da trajetória descrita por qualquer ponto da unidade rebocada (por exemplo, do centro de um eixo da carreta), denominado pelo autor de *tractrix*, está sempre vinculado vetorialmente à trajetória descrita pelo centro do eixo direcional do cavalo mecânico (chamada pelo autor de *tractix geral*).

Essa vinculação é assegurada por duas condições físicas:

- O vetor velocidade de qualquer ponto da unidade tracionada está sempre dirigido para o centro do eixo trator; e
- A distância entre esses dois pontos permanece constante.

A partir dessas condições, é possível determinar graficamente a trajetória, por exemplo, do centro *B* (veja figura 8-3) de um eixo que persegue o centro do eixo direcional em uma curva circular.

FIGURA 8-3
TRAJETÓRIA DE UM PONTO QUE PERSEGUE O EIXO DIRECIONAL

Fonte: GARLICK et al. [1993]

Inicialmente, traça-se a base de rodas A_0B_0 . Quando A mover-se para um ponto A_1 da curva circular, o ponto B mover-se-á para B_1 , determinado pela interseção do arco com centro em A_1 e raio A_0B_0 com o segmento A_0B_0 ; e assim por diante.

No caso de uma combinação de veículos, a solução pode ser facilmente generalizada. Basta tomar o ponto A como centro direcional do cavalo-mecânico. B será o pino-rei da primeira carreta; C , o centro do conjunto de eixos dessa carreta -- e assim por diante. A trajetória de cada ponto está fisicamente vinculada à trajetória do anterior.

A trajetória descrita pelo centro da última carreta é chamada de *curva de arraste*. Já a trajetória descrita pela extremidade traseira interna do veículo é chamada de *trajetória crítica* (*swept path*) [RUSSO, 1995, p. 19]. Juntamente com a trajetória da extremidade dianteira externa do veículo, a trajetória crítica delimita a *varredura* ou *chapelona*, isto é, a área que será ocupada pela composição desde que inicia até quando completa a curva. Determina-se a largura total de ocupação somando-se o arraste com a largura do veículos mais um componente de segurança.

O autor reconhece que a solução não leva em conta os aspectos dinâmicos do problema. Trata a questão apenas com base em seus aspectos cinemáticos, como se o veículo não tivesse peso nem inércia.

Na determinação do raio mínimo de giro, é necessário considerar [SETTI e WIDMER, 1993, p. 42]:

- A indispensável transição do trecho reto para o trecho curvo;
- Que o condutor não consegue girar a direção instantaneamente;
- Que ocorre um escorregamento lateral das rodas, cujo valor depende do coeficiente de atrito pneu/via.

Em parte, a dupla de pneus irá opor-se a essa aceleração. Apesar disso, é razoável esperar, mesmo com pequeno escorregamento e pavimento seco, uma pequena contribuição lateral. O cálculo desse efeito dinâmico exigirá o conhecimento específico da distribuição do peso do veículo.

Devido aos grandes pesos envolvidos, não será *fisicamente* surpresa se a análise cinemática for razoável apenas a velocidades muito baixas (uns poucos quilômetros por hora), quando o ponto *A* movimenta-se em pista seca. Os efeitos das forças serão ainda maiores se o pavimento não for horizontal [GARLICK, 1993]. No entanto, embora em alguns casos seja possível que os eixos traseiros realmente desloquem-se para fora, a sobrelargura é geralmente maior para baixas velocidades. Assim, modelos baseados apenas nas relações cinemáticas poderiam ser usados para prever a pior situação [SAYERS, 1986, p. 54].

8.5.5. Modelos de computador

/ Existem vários *softwares* para se determinar a trajetória de veículos em curvas. RUSSO [1995, p. 25 e 26] relaciona dezoito programas de simulação e desempenho de análise de veículos, dos quais pelo menos oito se aplicam ao problema de arraste a baixa velocidade. Um dos mais usados é o *AutoTURN*, que simula conversões de veículos simples e combinados em traçados específicos. o *AutoTURN* é baseado no *path tracker*, que é derivado do método da *Tractrix Integrator*. /

Comparado com o tradicional método da *Tractrix*, o modelo *Caltran* mostrou resultados praticamente idênticos para o SRC de 48 pés, com as vantagens de muito maior rapidez, eliminação dos desvios e de se poder determinar a trajetória para qualquer ponto. Os resultados ficaram também muitos próximos aos obtidos em testes de campo.

Em relação às fórmulas matemáticas, as diferenças mostraram-se tanto maiores quanto menor for o ângulo de giro. Quando esse ângulo cresce, o valor da sobrelargura obtido pelo computador também cresce, mas a uma taxa menor. O resultado sugere que, para uma rotação suficiente para que o veículo atinja o estado estacionário, pode-se alcançar a máxima sobrelargura determinada pelos modelos matemáticos. Os valores máximos da

sobrelargura obtidos pelas fórmulas e por computador foram os mesmos para caminhões executando curvas de grandes raios (mais de 100 pés, ou 30 m). Para raios menores, onde o estado estacionário só é atingido para ângulos superiores a 180 graus, a diferença pode ser substancial [FONG e CHENU, 1986, p. 24].

8.6. Ruído e poluição sonora

/A emissão veicular de ruídos geralmente cresce com o peso bruto, o número de eixos e a velocidade. Numerosos outros fatores também influem na emissão de ruído, como projeto, forma e configuração do veículo e condições da superfície de rolamento./

A FHWA desenvolveu uma fórmula para a emissão de ruído por grandes caminhões (em decibéis ajustados para uma distância padronizada), dados o peso bruto, o número de eixos e a velocidade. Quando se compara, por essa fórmula, um DSR de 66 000 libras e um SRC de 60 000 libras, o resultado é que as emissões dos *twins* resultam apenas 0,1% maiores do que a dos semi-reboques, uma diferença quase imperceptível e devida totalmente ao maior peso bruto. No entanto, como os *twins* fazem 9% menos viagens do que os SRCs que substituem, o efeito líquido será uma redução das emissões de ruídos dos grandes caminhões.

(Da mesma forma, a poluição atmosférica dos grandes caminhões está relacionada com os veículos-km percorridos. Os modelos dessas emissões geralmente não levam em conta as configurações ou classes dos veículos. Como o uso dos *twins* reduz o total de veículos-km percorridos, sua introdução contribui para a redução da poluição causada pelos grandes caminhões, na mesma proporção da redução da frota [TRB-SR 211, 1986, p. 182]./

8.7. Resumo e análise

- 1./Devido à combinação de efeitos como o maior peso por eixo (resultante da maior capacidade volumétrica do veículo), distribuição menos uniforme de cargas e disposição desfavorável dos eixos, os *twins* aumentam em 91% o desgaste dos pavimentos flexíveis e em 31% o desgaste dos pavimentos rígidos em relação aos SRCs norte-americanos. \
- /No Brasil, quando comparado com um SRC de 40 t, o DSR aumenta o desgaste do pavimento rígido em 51% e do pavimento flexível em 150% por veículo. Esses valores são significativamente maiores do que a redução do número de viagens que proporcionam. O DSR acarretaria exatamente o mesmo desgaste que o provocado por um SRC de cinco eixos, sendo três distanciados (45 t), pois ambos os veículos têm cinco eixos isolados. |
- (2) O DSR enquadra-se rigorosamente nos limites de carga por eixo em vigor no país. A utilização de eixos isolados no lugar de eixos em tandem já é praticada em semi-reboques de cinco eixos para 45 t. Além do mais, o aumento do custo de conservação em relação a SRCs mais leves representa uma fração pequena em relação à redução de custos operacionais proporcionada por essa configuração.

3. Obedecendo aos limites legais de carga por eixo e de peso bruto total, o DSR não traria nenhuma mudança significativa na deterioração de pontes e bueiros, pois pequenas mudanças nos carregamentos têm efeito insignificante nas estruturas e fundações existentes, cujo dimensionamento é ditado pelo peso próprio. Além disso, os DSRs são mais compridos, espaçando mais as cargas do que um SRC de cinco eixos e os bueiros são projetados nos mesmos padrões de cargas das pontes.
4. Devido às suas características de desempenho e ao maior peso, DSRs americanos estão mais sujeitos do que os SRCs a invadir acostamentos durante manobras, podendo danificar sinalizações, meio-fio, ilhas e dispositivos de proteção. No Brasil, fatores como a inexistência de diferenças de largura, peso ou arraste podem atenuar essa diferença.
5. Como as cargas por eixo e o peso bruto são os mesmos, a introdução do DSR não exigiria qualquer alteração nos projetos de obras-de-arte ou reforço das já existentes. Aparentemente, não haveria também alterações dos projetos geométricos, pois as sobrelarguras geradas não seriam maiores do que as exigidas pelos SRCs já autorizados a circular.
6. Graças à redução do número de veículos, a introdução do DSR poderia contribuir para reduzir a poluição sonora causada pelos grandes caminhões.

CAPÍTULO 9

A EXPERIÊNCIA

OPERACIONAL NOS EUA

Este capítulo procura determinar os impactos dos *twin trailer trucks* sobre os custos de transferência e de operação dos terminais. Analisa também que tipos de frotistas usam o DSR, em que rodovias e que tipos de cargas transportam nos Estados Unidos. Explica ainda porque a Europa prefere o Romeu-e-Julietta.

9.1. O TRC¹ americano

Antes de abordar a questão dos tipos de frotistas que usam o DSR em que classes de estradas, é conveniente revisar, com base no TRB-SR-211 [1986, p. 220/221 e 64/69], TRB-SR 223 [1989] e HANSEN [1979, p.24/25], a estrutura do setor norte-americano de transporte de carga (a chamada indústria de transportes de carga ou *trucking industry*²) e as mudanças que sofreu em 1980, com a desregulamentação.

Regulamentado pela ICC-*Interstate Commerce Commission*, órgão criado em 1935 para facilitar o comércio entre os Estados, o setor tinha, até então, classes de operadores claramente definidos. Os dois grupos mais importantes são os dos transportadores a frete

1 Transporte Rodoviário de Carga.

2 O conjunto de todos os operadores de caminhões, sejam pessoas físicas ou jurídicas, façam transporte de carga própria ou a frete.

(*for hire carrier*³) e o dos transportadores de carga própria (*independent, owner operators* ou *private carriers*⁴).

O transporte a frete, por sua vez, subdivide-se em interestadual (regulado pela ICC), intraestadual, local e exceções (*exempt carriers*⁵).

Quando destinado ao público, o interestadual de carga geral é executado pelas transportadoras comuns (*common carriers*⁶); e quando destinado a outras empresas, pelas transportadoras contratadas (*contract carriers*⁷). Tanto as transportadoras comuns quanto as sob contrato podem operar as chamadas rotas irregulares, destinadas ao transporte de produtos especiais (*special commodities*⁸), isentos de autorização da ICC.

O transporte interestadual realizado pelas transportadoras comuns e contratadas é regido pela ICC, que estabelece como as empresas devem vender seus serviços, os tipos de produtos que podem transportar e as linhas e territórios em que podem operar. A ICC regula também quem pode entrar no mercado, as tarifas que cada transportador pode cobrar, as exigências de segurança e até os procedimentos para reclamações que os embarcadores devem adotar.

As transportadoras de carga comum têm rotas regulares, enquanto as transportadoras sob contrato não têm rotas regulares e podem transportar *commodities* especiais. Ambas, no entanto, movimentam carga geral⁹, geralmente fracionada (*LTL-less than truckload*¹⁰), mas algumas operam também com transferência de cargas completas (*TL-truckload carrier*¹¹).

Os transportadores privados ou independentes (indústria e comércio) são aqueles que transportam suas próprias mercadorias. Correspondem no Brasil às empresas de carga própria. Podem também transportar *commodities* e prestar serviços a um transportador comum ou contratado.

3 Empresas cujo principal negócio consiste em fornecer de transporte para os bens de outras empresas ou pessoas.

4 Empresas que tinham frotas para movimentar suas próprias cargas e eram proibidas de transportar a fretes para terceiros, mesmo que esses terceiros fossem empresas do mesmo grupo.

5 Transportavam cargas não sujeitas aos regulamentos da ICC, como produtos agrícolas não processados e animais domésticos.

6 Empresa que oferece serviços de transporte ao público em geral de acordo com tabelas públicas reguladas pela *Interstate Commerce Commission-ICC*. Eram obrigados a oferecer fretes em condições idênticas a todos os embarcadores na área geográfica em que eram autorizados a atuar.

7 Transportadora especializada em transportar mediante contrato para um número reduzidos de outras empresas.

8 Máquinas, petróleo, produtos refrigerados, veículos motorizados, materiais de construção, eletrodomésticos e outros que, geralmente, exigiam equipamentos especiais.

9 Categoria que inclui praticamente tudo, exceto grandes carregamentos de certas mercadorias especiais, como petróleo, máquinas pesadas, produtos refrigerados, veículos, materiais de construção, madeira, eletrodomésticos e outros produtos específicos estabelecidos pela ICC.

10 Transportadora especializada em pequenas cargas de inúmeros embarcadores e inúmeros destinatários. Um transportador de carga fracionada precisa ter uma boa rede de terminais distribuídos pela região a que serve. Alguns deles (*hubs*) poderão concentrar cargas vindas de terminais próximos e menores. A atividade exige também frotas de coleta e entrega e frota de grandes caminhões de transferência.

11 Frotista que transfere cargas completas (lotação) diretamente do embarcador até o destinatário.

Já os transportadores enquadrados como exceções (*exempt*), onde se incluem transportadores individuais e as cooperativas, movimentam *commodities* não reguladas pela ICC, como produtos agrícolas não processados (grãos e vegetais) e animais domésticos.

TABELA 9-1: ESTRUTURA DO TRANSPORTE RODOVIÁRIO DE CARGA DOS EUA					
TRANSPORTE RODOVIÁRIO DE CARGA	A FRETE	Interestadual Regulado pela ICC)	Comum Sob contato	Regular Irregular Regular Irregular	Carga geral Commodities especiais Carga geral Commodities especiais
		Intraestadual			
		Local			
	PRIVADO	Exceção	Cooperativas Autônomos Empresas de carga própria		Produtos agrícolas não processados Animais domésticos
FONTE: TRB-SR 211 [1 986, p. 66].					

Além dos transportes local e estadual e das exceções, estão fora do controle da ICC os transportadores individuais independentes (*owner operators*) e as cooperativas agrícolas. Os transportadores autônomos também fazem parte do sistema. Geralmente, não têm autorização da ICC e se especializam em transportar produtos não sujeitos a controle (ou exceções) ou subcontratar serviços com frotistas autorizados.

O *Motor Carrier Act*, aprovado em 1980, simplificou as exigências para a entrada de novos operadores, autorizou as empresas de carga própria a cobrarem frete, aumentou a lista dos produtos não sujeitos a regulamento e amenizou as exigências para as transportadoras comuns operarem em rotas regulares. Essas mudanças abrandaram bastante as tradicionais diferenças entre os vários segmentos do setor de transportes. Assim, transportadoras comuns hoje freqüentemente movimentam mercadorias sob contrato e empresas de carga própria começaram a competir num mercado do qual estavam excluídas.

9.2. Aplicações dos VCLs¹²

Para melhor situar as aplicações dos DSRs, convém analisar a utilização de veículos mais longos e mais pesados no mercado norte-americano, especialmente nos Estados do Oeste do Mississipi. Segundo o *Western Highway Institute* [1992, p. 2], esses Estados oferecem boas estradas, faixas e acostamentos adequados para veículos mais longos, pontes suficientemente resistentes e, talvez, o fator mais importante, volumes de tráfego relativamente baixos.

A dispersão dos assentamentos e centros urbanos da região cria necessidade de veículos mais longos e mais pesados, com múltiplas unidades, que possam ser deixadas em diversos pontos de descarga. A maneira mais direta de atender a essa necessidade tem sido simplesmente adicionar mais uma carreta, longa ou curta, a uma combinação já em uso, ganhando-se, assim, de 30 a 100% mais de volume, com economia de 20 a 25% de combustível.

Utilizando um único cavalo e um único motorista, uma composição pode deixar uma carreta no depósito de um cliente, engatar outra carreta e retornar à rodovia sem ter que esperar que a original seja descarregada e recarregada. Cada carreta sozinha é tão ou mais longa do que um caminhão no “toco”¹³ ou trucado¹⁴ e, ao contrário do caminhão, que tem cabina e espaço morto entre ela e a carroçaria, todo o espaço da carreta é reservado para carga.

As várias configurações de veículos combinados longos americanos apresentam diferentes desempenhos. Por isso, encontram aplicações diferenciadas, descritas pelo *Western Highway Institute* [1992, p.13 a 22].

9.2.1. *Rocky Mountain Double (RMD)*

O *RMD-rocky mountain double*, por exemplo, é uma configuração preferida por muitos dos transportadores regionais de cargas fracionadas (LTL) do Oeste e por transportadores que dispõem de poucos recursos financeiros. Como são mais estáveis do que os *twins* e mais fáceis de manobrar do que os *turnpike doubles*, podem operar numa extensa rede rodoviária.

Em termos de volume, é 36% mais produtivo do que os *western doubles*. Em termos de peso, tem, de acordo com a *Bridge Formula*, capacidade 41% maior. Devido ao seus eixos adicionais em relação às configurações convencionais, o equipamento tem efeito 35% menor sobre o desgaste dos pavimentos e 25% menor sobre as pontes curtas típicas.

12 Veículos Combinados Longos (em Inglês: *Longer Combination Vehicles*).

13 Veículo simples sobre dois eixos

14 Caminhão com três eixos, o dianteiro mais dois traseiros em *tandem*.

Em junho de 1991, o RMD operava legalmente em vinte Estados¹⁵. Em dois deles, o veículo podia trafegar em todas as estradas estaduais. Mas a maioria exigia autorizações especiais e cinco Estados só permitiam o RMD nas rodovias a pedágio.

Havia também, na maioria dos Estados, algum tipo restrição operacional, por exemplo, velocidade máxima (45 mph), proibição de tráfego sob “tempo inclemente”, distância mínima em relação aos demais veículos (500 ou 600 pés), trafegar apenas na faixa da direita etc.

A maioria dos Estados não faz distinção entre os RMDs e os *intermediate doubles* (veículos com duas carretas com comprimentos iguais ou diferentes, entre 30 e 40 pés). Ambos têm características e aplicações bastante semelhantes, mas os *intermediate doubles* são mais adequados para uso na agricultura, transporte de cargas a granel e mineração. A facilidade para manobrar em áreas rurais e a compatibilidade com o tráfego rural tornam os *intermediate doubles* a configuração mais produtiva para transportar cargas em grande parte do Oeste norte-americano.

9.2.2. *Turnpike Doubles (TD)*

Já os *TD-turnpike doubles* são preferidos por muitos transportadores de carga própria, como por exemplo, os atacadistas. Mas, devido às deficiências em curvas (elevada sobrelargura), são confinados às rodovias interestaduais e rodovias a pedágio e geralmente são obrigados a desmembrar suas unidades para entregas dentro de cidades.

Os embarcadores usam o *turnpike* para maximizar cargas transportadas ponto-a-ponto (transferências) sem coletas ou entregas intermediárias. Esta configuração é especialmente eficiente em situações onde os limites de volume são importantes, pois sua capacidade volumétrica é duas vezes maior do que a de um semi-reboque convencional.

O *turnpike double* é a mais estável configuração de toda a família dos *doubles*. Pesquisas comprovaram que as carretas mais longas têm grande resistência ao tombamento.

Em junho de 1991, dezesseis¹⁶ Estados autorizavam a operação do *TD*, a maioria em rodovias específicas, com restrições operacionais semelhantes às já registradas para o *RMD*.

9.2.3. *Triple Trailer (TT)*

Por sua vez, os *triples* são extremamente eficientes para transportadores de encomendas e cargas de baixa densidade. Eles viram com relativa facilidade em esquinas,

¹⁵ Em rodovias comuns: Alaska, Arizona, Colorado, Idaho, Montana, Nebraska, Nevada, North Dakota, Oklahoma, Oregon, South Dakota, Utah, Washington e Wyoming. Em rodovias a pedágio: Indiana, Kansas, Massachusetts, New York e Ohio.

¹⁶ Em rodovias comuns: Alaska, Arizona, Colorado, Idaho, Montana, Nebraska, Nevada, North Dakota, Oklahoma, South Dakota e Utah. Em rodovias a pedágio: Florida, Indiana, Kansas, Massachusetts, New York e Ohio.

desgastam menos os pavimentos e as pontes do que os *doubles* e geralmente têm operação restrita às rodovias interestaduais e outras com capacidade elevada ou pouco utilizada.¹⁷

Essa configuração tem grande eficiência no transporte de cargas fracionadas, pois permite ao operador coletar e entregar unidades de carga em múltiplos pontos de uma mesma rota. Para cargas leves, o veículo assegura 50% a mais de volume do que o *twin*.

/Os *triples* são especialmente apropriados para grandes áreas de população dispersa e longas distâncias entre os pontos de entrega. A opinião desfavorável de alguns órgãos públicos, devido a um menor limiar de estabilidade dessa configuração, tem sido compensada pela maior atenção à manutenção do equipamento, qualificação do motorista e seleção de rotas. Como consequência, os índices reais de segurança dos *triples* são melhores do que os de qualquer outra combinação de veículos.¹⁸

/Além do mais, considerando sua maior capacidade, dentro dos mesmos limites de carga por eixo e pbt, reduzem os danos aos pavimentos em 25%. Pesquisas mostram que eles geram cerca de 20% menos jatos e respingos do que as configurações que usam eixos em tandem.

Em dez anos (entre 1983 a 1992), registraram-se apenas nove mortes resultantes da operação dos *triples* em centenas de milhões de milhas de viagem. Em junho de 1991, a operação dos *triples* era permitida em quatorze Estados¹⁷ americanos. Seu uso está restrito a rodovias interestaduais e de quatro faixas e sob restrições de operação muito semelhantes às obedecidas pelos *RMD* e *TD*.

9.3. Vantagens dos *twins*

/Com uso muito mais amplo do que o dos veículos combinados longos analisados no bloco anterior, o *twin trailer truck* pode trafegar livremente em todo o sistema de rodovias federais ou estaduais designadas pelo governo americano¹⁸.

No transporte de cargas de baixa densidade, substitui com vantagem o semi-reboque convencional. KOLLINS, R.W. [1981, p. 95] estima em mais de 18% a redução de custos operacionais e em 20% a economia de combustível obtida com a substituição de um semi-reboque convencional pelo DSR no transporte de carga geral fracionada.

/A troca dos SRCs pelos DSRs resulta em ganhos de produtividade. Com um *twin*, o frotista pode transportar maior volume ou maior número de unidades de carga, eliminar custos de manuseio das cargas nos terminais e reduzir a quilometragem percorrida.

/Constata-se, em compensação, ligeiro acréscimo em outros custos menos significativos, como o de movimentação das carretas nos terminais, os investimentos em frota e terminais,

17 Estados comuns: Arizona, Colorado, Idaho, Montana, Nebraska, Nevada, North Dakota, Oklahoma, Oregon, South Dakota e Utah. Estradas a pedágio: Indiana, Kansas e Ohio.

18 Veja capítulo 4.

a manutenção dos semi-reboques, os salários dos motoristas, o risco de ociosidade provocada pelo desbalanceamento de fluxo etc [TRB-SR 211, p. 255]. /

/Mas o resultado final será a redução dos custos de transferência, que representam 48% dos custos da carga geral, e das despesas de manuseio, que representam 21% dos custos da carga geral [TRB-SR 211, 1986, p. 72]. /

9.3.1. Maior capacidade cúbica

Duas carretas de 27 a 30¹⁹ pés (8,20 a 9,10 m) comportam um volume de carga maior do que uma única de 45 a 53²⁰ pés (13,7 a 16,15 m). Teoricamente, quando se comparam dois *twins* de 28 pés (8,5 m) com um semi-reboque de 45 pés (13,7 m) com largura anterior ao STAA-82²¹, o ganho seria de 32,2%²² (tabela 9-2). Se as carretas tiverem a mesma largura e a mesma altura, o ganho teórico cai para 24,4%²³; e se o DSR de 28 pés for comparado com uma carreta de 48 pés com a mesma largura, a diferença cai para 16,7%²⁴.

TABELA 9-2
VOLUMES TEÓRICOS RELATIVOS: DSR X SRC

CONFIGURAÇÃO	COMPRIMENTO (m)	VOLUME RELATIVO
Semi-reboque de 45 pés com 96 pol de larg. (pré-STAA)	13,71	100,0
Semi-reboque de 45 pés com 102 pol de larg. (pós-STAA)	13,71	106,3
Semi-reboque de 48 pés com 102 pol de larg. (pós-STAA)	14,61	113,3
DSR de 28 pés com 102 pol de larg. (pós-STAA)	2 x 8,53 = 17,06	132,2
FONTE: TRB-SR 211 [1986, p. 95].		

19 A proposta Turner sugere dimensão de 33 pés, mas apenas para conjuntos de, no mínimo, sete eixos. Mesmo usando menores limites de carga por eixo (15 000 libras por eixo simples e 25 000 libras por conjunto de eixos em *tandem*) essa configuração exigiria carga de, no mínimo 17 libras/pé cúbico para atingir seu limite de peso bruto [TRB-SR 227, 1990, p. 68].

20 Dimensão que, quatro anos atrás, começava ganhar aceitação nos EUA (SR-227, 1990, p. 68).

21 O STAA-82 autorizou o aumento da largura dos DSRs e dos SRCs de 96 para 102 polegadas. Autorizou também aumentos do comprimento das carretas do DSR de 27 para 28 pés; e do comprimentos dos SRCs de 45 para 48 pés (ver capítulo 4).

22 $(56/45) \times (102/96) = 1,322$

23 $(56/45) = 1,244$

24 $(56/48) = 1,167$

Um *twin* usando duas carretas de 27 pés (8,2 m) de comprimento e 96 polegadas (2,44 m) de largura tem capacidade volumétrica de aproximadamente 96,3 m³ (3 400 pés cúbicos), alcançando esse limite (*cube out*) à densidade relativamente baixa de 12 libras/pé cúbico (192 kg/m³ ⁽²⁵⁾), ou seja, antes de atingir o limite de peso (*tabela 9-3*). Sua capacidade máxima total de carga seria, portanto, de cerca de 18,5 t. Trata-se de uma capacidade aparentemente baixa porque o DSR tem maior peso morto do que o SRC, devido ao *dolly* e ao comprimento adicional. Por sua vez, um SRC de 45 pés (13,7 m) pode transportar apenas 82,1 m³ (2 900 pés cúbicos) e só usará sua capacidade total de carga se a densidade for superior a 17 libras/pé cúbico ou 272,3 kg/m³. Sua capacidade de carga alcança, portanto, 22,4 t [HANSEN, 1979, p. 26]. Um *twin* de 27 pés tem capacidade de 3 600 pés cúbicos, 23% maior do que a de um semi-reboque de 45 pés (2 925 pés cúbicos) [KOLLINS e SELVA, (1981, p. 195]

TABELA 9-3
VOLUMES COMPARATIVOS DSR X SRC SEGUNDO HANSEN [1979]

CONFIGURAÇÃO	VOLUME (pé cubico)	DENS. MÁX. (lb/pé cúbico)
SRC com 45 pés	2 900-2 925	17
DSR com 27 pés	3 400-3 600	12
FONTES: HANSEN, [1979, p. 26] e KOLLINS e Selva [1981, p. 195]		

Dados mais precisos sobre o assunto podem ser encontrados no TRB-SR 223 [1990, p. 77]²⁶, que estima em 3 100 pés cúbicos²⁷ e 17 libras/pé cúbico o volume e a densidade de máximo aproveitamento desse volume para um semi-reboque pré-STAA, de 45 pés de comprimento, largura de 96 polegadas (8 pés) e altura interior de 8,5 pés. Para o novo semi-reboque tipo STAA, com 48 pés de comprimento e 102 polegadas (8,5 pés) de largura, esses números se alteram para 3 500 pés cúbicos²⁸ e 15 libras/pé cúbico, respectivamente. Já um *STAA-double* de 28 pés alcança 4 200 pés cúbicos²⁹ (119 m³) e densidade de 12 libras/pé cúbico.

25 1 libra/pé cúbico = 0,45359 kg/0,028317 m³ = 16,018 kg/m³. 1 m³ = 35,314 pés cúbicos

26 Embora omissa quanto às taras do cavalo, das carretas e do *dolly*, esta fonte explicita a largura e a altura das carretas.

27 Valor arredondado: 45x8,5x8,0 = 3060 pés cúbicos (86,6 m³).

28 Valor arredondado: 48x8,5x8,5 = 3468 (98,3 m³)

29 Valor superestimado: 56x8,5x85 = 4046 (114,5 m³)

TABELA 9-4
VOLUME COMPARATIVO DSR X SRC SEGUNDO SR-223 [1990]

CONFIGURAÇÃO	VOLUME (pé cúbico)	DENS. MÁX. (lb/pé cúbico)
Semi-reboque pré STAA de 45 pés (45x 8,5 x 8,0 pés)	3 100	17
Semi-reboque STAA, 48 pés (48 x 8,5 x 8,5 pés)	3 500	15
STAA-double de 48 pés (28 x 8,5 x 8,5 pés)	4 200	12
FONTE: TRB-SR 223 [1 990, p. 77]		

Os fretes movimentados pelos transportadores americanos de carga fracionada tinham, em 1986, densidade média de 12 a 13 libras/pé cúbico (192 a 209 kg/m³). Com essa densidade, um semi-reboque convencional de 45 pés ficava cerca de 10 mil libras abaixo do limite de pbt de 80 mil libras [TRB-SR 211, 1986, p. 71].

Com um *twin*, o transportador pode levar volume consideravelmente maior e, mesmo assim, não exceder o limite de peso bruto. Por isso, a tendência das grandes transportadoras americanas de carga fracionada que operam a nível nacional é usar essa configuração na transferência entre grandes terminais concentradores de carga (*hubs*), onde podem aproveitar melhor a cubagem adicional [TRB-SR 211, 1986, p. 96].

9.3.2. Menos quilômetros rodados

As estimativas de redução da quilometragem rodada proporcionada pela maior capacidade dos DSRs variam bastante. No entanto, muitos executivos da área de transportes acreditavam, em 1986, que dez desses veículos podiam fazer o mesmo trabalho que onze SRCs. As estimativas de redução dos custos de transferência obtida com essa substituição variavam de 5 a 20%, mas a maioria delas concentrava-se nos 10% [TRB-SR 211, 1986, p. 91]. [O *Fay/Traffic Distribution Services Study*, citado pelo TRB-SR 211, [1986, p. 256], estima que os DSRs têm um custo por quilômetro aproximadamente 11% mais alto do que o dos SRCs. Como o aumento da capacidade volumétrica é superior a esse índice, conclui-se que a utilização desse veículo reduz o custo da t.km transportada.]

JUNG [1969] , *apud* TRB-SR 211 [1986, p. 257], estimou que os custos do transporte de carga geral poderiam ser reduzidos em 4% pelo aumento da capacidade dos veículos. O custo do quilômetro rodado dos *twins* é 1,4% (para pbt de 80 000 libras) a 1,8% (pbt de 29 000 libras) mais alto do que o dos SRCs. Há ligeiros aumentos nos custos de depreciação e remuneração do capital e de salários. Permanecem inalterados os custos indiretos e de *overhead*, de pneus e de manutenção e serviços, enquanto os de combustível sofrem ligeira redução. A substituição do SRC de 73 200 libras pelo *western double* de 80 000 libras resultaria em economia de 16,6% a 19,5% nos custos de transferência. Se a

substituição fosse do SRC de 80 000 libras pelo *twin* do mesmo peso, a economia seria de 13,6 a 16,8% [SELVA e KOLLINS, citados pelo TRB-SR 211, 1986, p. 257 a 259].

ANDERSON [1983], citado pelo TRB-SR 211 [1986, p. 266], calcula em 17% por unidade de volume a economia de um *twin* de 27 pés em relação a um semi-reboque convencional de 45 pés; e em 24% a economia de um *standard double* de 28 pés em relação a um SRC de 45 pés.

Essa vantagem é muito destacada pelas pequenas transportadoras americanas de carga fracionada. Ao contrário dos grandes, que buscam cubagem adicional, os pequenos operadores valorizam a redução da quilometragem rodada e do tempo de manuseio, além da maior rapidez do serviço (ver segundo bloco na seqüência).

9.3.3. Mais cargas unitizadas

Essa diferença torna-se ainda mais significativa quando se trata de cargas unitizadas. Dois semi-reboques de 28 pés podem transportar quatro *marks* (carga unitária que pesa geralmente entre 5 mil e 10 mil libras e cuja expedição dispensa doca de carregamento), enquanto um semi-reboque convencional leva apenas duas dessas unidades. No caso de cargas paletizadas utilizando estrados de 1,20x1,00 m, a base das duas carretas do *twin* comportaria 32 unidades, contra apenas 28 no SRC de 48 pés [TRB-SR 211, 1986, p. 255].

9.3.4. Eliminação de manuseios intermediários

O uso do *western double* permite ao transportador reduzir o número de vezes em que a carga é manuseada. A carga fracionada (comum, encomenda ou itinerante) exige uma grande rede de terminais, espalhados por toda a área de operação da empresa. O ideal é que a distância máxima entre eles permita um ciclo de operações de 24 horas. Esse ciclo inclui não só o tempo de viagem como também os tempos de transferência das mercadorias nos dois terminais.

Quando um semi-reboque comum com destino a um terminal *B* chega a um terminal *A*, levando também carga destinada a um terminal *C*, ele precisa descarregar essa última carga (que será consolidada em outro semi-reboque) e receber outro carregamento destinado a *B*, para completar sua lotação.

Um *twin* que chega ao terminal *A*, com duas unidades, uma destinada a *B*, outra endereçada a *C*, não será descarregado. Em vez disso, a segunda carreta será transferida para outro *twin* destinado a *C*. No seu lugar, entrará outra carreta, que já estava previamente carregada.

Essa economia de manuseio torna-se expressiva, pois, para esse tipo de operador, especialmente, em curtas distâncias, as despesas de terminais representam a maior parte dos custos operacionais.

Embora as estimativas de redução dos custos de manuseio variem bastante, concentram-se, grosso modo, na faixa de 9% [TRB-SR 211, 1986, p. 91 e 92]. HANSEN [1979] estimou essa mesma economia em 10%.

Além disso, o transporte torna-se mais rápido, o que é muito importante quando se trabalha com cargas urgentes ou expressas, que têm rígidos prazos de entrega. LANE [1987, p. 11] inclui o uso de uma segunda unidade tracionada entre as estratégias empregadas pelas empresas avançadas de transporte³⁰ para tornar a carga e a descarga mais convenientes para os embarcadores e evitar demoras associadas à espera pelo carregamento das carretas.

DELANEY [1986, p. 39] cita o caso de um fabricante de carpetes que precisava transportar sua produção de Dalton, na Geórgia, para o mercado da Califórnia. Os custos de transferência por rodovia ou por *piggy-back* eram virtualmente os mesmos. No entanto, o tempo médio de entrega foi reduzido dos doze dias do *piggy-back* para 52 horas pelo *double leve*.

Essa redução de custo e de prazos pode ser maior ainda se a transportadora eliminar o manuseio também nos terminais de origem, utilizando conjunto de um cavalo mais uma carreta intercambiável dos *twins* para realizar a coleta das mercadorias destinadas a cada terminal.

FARREL [1984], citado pelo TRB-SR 211 [1986, p.256], vê vantagens na utilização dos *twins* no transporte de cargas fracionadas em mercados de baixa densidade de tráfego, típicos do Oeste americano. Uma carreta menor pode ser mais rapidamente lotada e despachada diretamente ao destino em extensas áreas geográfica dispersas. Os circuitos de menores distâncias também tornam menores lotações mais vantajosas, porque podem ser manuseadas de maneira competitiva.

Da mesma forma, JUNG, *apud* TRB-SR 211 [1986, p. 257], constatou que a flexibilidade dos *twins* reduz o custo do carregamento e que, para um carregamento simples de 13 000 libras (cerca de 5 900 kg), a redução do custo do embarque chega a 25%.

9.4. Desvantagens dos *twins*

Se o emprego dos *twins* reduz alguns custos, em compensação, cria problemas logísticos e operacionais e aumenta ligeiramente alguns outros custos. Entre eles, o custo de movimentação das carretas nos terminais, os investimentos em veículos e nos próprios terminais, os custos de manutenção e os salários dos motoristas.

9.4.1. Problemas logísticos e operacionais

Em muitas aplicações, a distribuição da carga por duas carretas provavelmente resultará em redução e não em aumento dos custos logísticos, particularmente no frete geral. No entanto, há casos em que a utilização dos DSRs pode trazer problemas logísticos e operacionais.)

É de se esperar, no entanto, que os custos logísticos associados a tais problemas declinem ao longo do tempo. Na medida em que a nova configuração for se tornando mais comum, embarcadores irão modificando suas instalações e procedimentos para melhor acomodar os novos veículos.)

Ao analisar as implicações da possível adoção dos veículos sugeridos pela chamada *Proposta Turner*³¹, o TRB-SR 227 [1990, p. 56 e seguintes] relaciona, com base em pesquisa entre frotistas, vários problemas logísticos e operacionais criados pela operação dos *doubles*. Embora em alguns casos, em menor escala³², esses problemas estão presentes também na operação dos DSRs:

Manobrabilidade - *Doubles* com *dollies* de lança única³³ não podem dar [marcha-a-ré. Assim, posicionar a carreta para carga e descarga pode se tornar mais difícil em algumas condições, por exemplo, em fazendas, canteiros de obras ou pequenas lojas de varejo.

Restrições de espaço - Para serem processados no terminal, os *doubles* precisam ser desengatados e cada um conduzido separadamente, de ré para a doca. O processamento mais eficiente exige uma baía para cada carreta. O embarcador ou destinatário pode não dispor no pátio de espaço suficiente para desengatar duas carretas ou de docas extras para carga e descarga.

Tempo de carga e descarga - Os *doubles* necessitam mais tempo de processamento por veículo e, geralmente, também maior tempo por unidade para carregar e descarregar. Isso se aplica a furgões em docas, basculantes em construções ou tanques. Carregar as duas carretas simultaneamente pode acelerar o processo, mas isso exige investimento de capital em docas adicionais. Numa pesquisa com transportadores de carga fracionada (LTL) sobre a adoção dos DSRs, muitos frotistas informaram que foram obrigados a fazer investimentos para ampliar o número de portas dos terminais para processar com eficiência as carretas adicionais. O estudo estimou que a substituição dos

31 Apresentada em 1984, a *Proposta Turner* preconiza veículos de maior peso bruto e com menores cargas por eixo como forma de se aumentar a produtividade do transporte e se reduzir o desgaste dos pavimentos.

32 As carretas são mais curtas e o pbt é menor.

33 Comumente chamados de *A-dollies*.

semi-reboques convencionais pelos *twins* exige 1/3 de portas adicionais e que o custo de cada porta chega a US\$ 30 mil, ou seja US\$ 0,02 por milha [TRB-SR 211, 1986].

Instalações seguras para carretas - Muitas operações com *doubles*, especialmente com cargas fracionadas, exigem que o motorista deixe uma carreta num local intermediário e prossiga com a outra até o destino final, sem esperar pelo descarregamento da primeira. Mas muitos transportadores não dispõem de área segura capaz de proteger essa carreta contra roubos.

Múltiplas cargas e descargas - Muitos frotistas costumam usar os *doubles* em viagens de simples transferência, isto é, com uma única carga e uma única descarga (por exemplo, de uma única indústria para um armazém), mas encontram dificuldades em utilizar o veículo em percursos com muitas paradas (por exemplo, origem em um armazém de cargas com destino a muitos varejistas). Múltiplas paradas criam dificuldades de manobras, espaço de carga e descarga, especialmente quando as mercadorias são destinadas a pequenas instalações.

Desequilíbrios de fluxo - Em rotas que apresentam fluxos equilibrados de carga de ida e volta, obtém-se excelente aproveitamento da maior capacidade dos *doubles*. No entanto, nas rotas onde isso não acontece, tanto o tempo de espera para completar a lotação do veículo quanto a ociosidade da composição poderão crescer, contribuindo para elevar os custos.

Cargas indivisíveis - Grandes máquinas, postes e outras cargas indivisíveis não se adaptam aos *doubles*.

Documentação - A introdução de um equipamento com maior capacidade exige adaptação no tamanho dos lotes de pedidos e tabelas de preço das indústrias.

Capacidade de estoque do destinatário - O espaço de estocagem ou os tanques de armazenagem ou outras instalações do destinatário podem ser tão pequenos que ele prefira manter um estoque menor com entregas mais freqüentes, por caminhões menores.

Custos de manutenção - A quebra da padronização dos equipamentos reduz a produtividade da mão-de-obra de manutenção, aumenta o estoque de peças e reduz o volume de descontos.

Deseconomias de escala - Grandes transportadores costumam obter ganhos de escala com a utilização de uma única configuração de veículo, graças ao aumento da densidade de tráfego nas linhas mais movimentadas. O uso de uma configuração adicional pode reduzir esses ganhos.

9.4.2. Movimentação nos terminais

Como as carretas têm que ser separadas e estacionadas de ré duas vezes, para descarga, o custo de movimentação nos terminais será maior. Esses custos, no entanto, representam menos de 1% das despesas de uma transportadora [TRB-SR 211, 1986, p. 92].

A movimentação do segundo semi-reboque, em particular, exige a utilização de um cavalo mecânico para empurrar essa carreta de ré com engate para a barra do *dolly* no pára-choque. Se a empresa empregar um trem tipo *B* canadense, que constitui um apêndice integrante da primeira carreta³⁴, o problema da movimentação e carregamento dessa unidade torna-se ainda mais complicado. O prolongamento da carreta da frente, além de impedir a intercambiabilidade, é incompatível com muitas plataformas de carga e descarga, a menos que sejam realizadas modificações onerosas.

Esse problema vem sendo estudado pelos fabricantes canadenses de semi-reboques e as soluções propostas vêm encontrando boa receptividade entre os frotistas. Assim, em 1988, a modificação chamada *Goodbye Dolly* estava ganhando popularidade rapidamente e tornando o trem *B* mais atraente para o transporte de carga geral. Graças a essa inovação, a extensão do chassi e a quinta-roda deslizam para frente, permitindo à primeira carreta entrar de ré numa doca comum. Para resolver o mesmo problema, alguns frotistas instalaram portas na frente da segunda carreta para permitir o acesso à primeira. Carreiros estavam usando o segundo semi-reboque descarregando por trás e o primeiro, pela lateral, para eliminar a necessidade de desengatar durante a descarga. Uma solução mais elaborada é a utilização de baús lonados tanto nas laterais quanto na traseira³⁵ [PEARSON, 1988, p. 132].

9.4.3. Outras desvantagens

O aumento do número de carretas eleva o custo de manutenção. As portas das carretas requerem consertos e manutenção regulares, e os *twins* dobram o número delas. Além disso, o investimento por unidade também será cerca de 5 a 25% mais alto TRB-SR-211 [1986, p.92].

Alguns outros custos também crescem, especialmente, os salários de motoristas, ligeiramente maiores. O *win* tem ainda maior tara, o que o torna inadequado para transporte de lotações (TL) porque a capacidade de carga é reduzida.

Todas essas desvantagens, no entanto, são pequenas quando comparadas com os benefícios dos *twins*, especialmente, no transporte de carga fracionada. Entre 1983 e 1985, mais de 90% das cargas transportadas pelos *twins* no leste dos Estados Unidos e mais de 75% das cargas movimentadas por essa configuração no meio-oeste eram de empresas de cargas fracionadas (LTL) [TRB-SR 211, 1986, p. 92].

9.5. Utilização dos *twins*

Antes do STAA-83, os *twins* respondiam por menos de 4% de todas as viagens de veículos combinados nos Estados Unidos. Essas viagens eram distribuídas de maneira

34 Ver capítulos 2 e 4.

35 Tanto o basculamento lateral quando os baús lonados já estão disponíveis no Brasil.

bastante irregular entre as várias regiões geográficas e entre os vários tipo de rodovias [TRB-SR 211, 1986, p. 82].

Com base em estatísticas de contagem de veículos da FHWA, estima-se que, em 1982, 56% dos veículos-milhas percorridos pelos *twins* ocorreram na Califórnia. No mesmo ano, os *twins* foram responsáveis por 30% dos veículos-milha desenvolvidos pelos veículos combinados na Califórnia, onde o uso dessa configuração era atípica, e por 10% nos outros Estados do Oeste e das Montanhas Rochosas. Nos Estados restantes, os *twins* realizavam em 1983 menos de 2% do total de veículos-milha rodados por veículos combinados [TRB-SR 211, 1986, p. 74 e 82].

Incluindo a Califórnia, antes de 1983, 63% das viagens eram em estradas rurais; fora da Califórnia, essa taxa crescia para 75%. Os *twins* geralmente são usados com maior intensidade nas rodovias interestaduais. O transporte estadual e local tende a ser feito pelos SRCs. Incluindo-se a Califórnia, em 1983, 55% das viagens eram feitas em rodovias rurais interestaduais e primárias. Excluindo-se a Califórnia, esse número subia para 65% [TRB-SR 211, 1986, p. 75].

Transportadores regulados pelo ICC (comuns e sob contrato) operavam 93% dos *twins* das regiões Leste e Central e apenas 63% dos semi-reboques de cinco eixos. Esses operadores respondiam por 74% dos *STAA-doubles* usados em outros Estados do Oeste e das Montanhas Rochosas, mas apenas por 25% dos *twins* da Califórnia, onde essa configuração era usada também por atacadistas, produtores de alimentos e madeireiros. Fora da Califórnia, as cargas mais comumente transportadas pelos *western doubles* eram cargas fracionadas mistas e pequenas encomendas. Na Califórnia, porém, o maior percentual era constituído por produtos agrícolas e alimentos, isto é, cargas típicas dos SRCs. Geralmente, as carroçarias dos *twins* eram furgões para carga seca. Mas, na Califórnia, havia também plataformas, graneleiros e tanques. Em nenhuma região se encontram volumes expressivos de furgões frigoríficos ou para móveis [TRB-SR 211, 1986, p. 79].

Embora seja teoricamente a composição mais econômica para cargas de baixa densidade, o *double* leve só era bastante usado para carga geral. Transportadores de carga fracionada (LTL) representavam os maiores usuários em potencial do DSR, devido à adequação desse equipamento às suas operações [TRB-SR 211, 1986, p. 71].

Os *twins* reduziram a quilometragem das transferências de cargas fracionadas em aproximadamente 10% e custos de manuseio das cargas em 6%. Segundo esse estudo, os benefícios dos *STAA-doubles* decrescem devido à necessidade de maior investimento e à elevação do custo do quilômetro rodado. Os *twins* têm, por exemplo, custos de motoristas e consumo de combustível ligeiramente mais altos do que os dos semi-reboques convencionais. Mesmo assim o uso dos duplos semi-reboques leves poderia reduzir o custo final do transporte em cerca de 2%. Admitindo-se que 75% do transporte de cargas fracionadas fosse feita por *twins*, isso significaria uma economia de

US\$ 500 milhões anuais. Não se sabe em que extensão essa economia seria transferida aos embarcadores [TRB-SR 211, 1986, p. 106 a 109].

Apesar das turbulências da regulamentação que vieram após a edição do STAA, esses benefícios aumentaram substancialmente o uso dos *twins*. As vendas de carretas tipo furgão aumentaram de 60000 unidades em 1983 para 115000 unidades em 1984 e a participação dos semi-reboques de 27 e 28 pés nas vendas de carretas subiu de 8% em 1982 para 22% em 1984 [TRB-SR 211, 1986, p. 87]. Essa participação cresceu para 26% em 1986 e caiu para 17% em 1988 [TRB-SR 223, 1989, p. 75].

Dados da FHWA revelam que em 1986 os *twins* eram responsáveis por 5,7% de todos os quilômetros percorridos pelos veículos combinados no País. Esse percentual chegava a 15,1% no Oeste/Montanhas Rochosas, 3,8% nos Estados e Planícies Centrais e 2,9% no Leste [TRB-SR-223, 1989, p. 81].

9.5.1. Razões para não usar

Por muitas razões, com exceção dos operadores de carga fracionada (LTL), outros transportadores de produtos de baixa densidade não escolhem esse veículo. Algumas dessas razões estão relacionadas com a natureza das suas operações. Por exemplo, eletrodomésticos, embora tenham baixa densidade, precisam ser descarregados em residências - normalmente, pela traseira do caminhão ou da carreta. Da mesma forma, os carreteiros podem não ter condições de usar efetivamente as duas carretas. Já os transportadores de produtos agrícolas são geralmente frotistas independentes que desejam um veículo versátil e fácil de manobrar nos pátios e estradas das fazendas. Por isso, o SRC de dois eixos traçado por cavalo de três eixos torna-se o veículo ideal [HANSEN, 1979, p. 52].

Os transportadores de lotação (TL), por sua vez, encontram em semi-reboques mais longos, como o de 53 pés (16,15 m) opção mais adequada para as cargas de baixa densidade. Embora transportando maiores tonelagens do que os semi-reboques comuns, os *twins* conservam-se bastante abaixo do limite de 80 mil libras. A moda do pbt era de 65-70 mil libras para os *twins* de 55-60 mil libras para os SRCs. O pbt médio ficou em 60 mil libras para os DSRs e de 54 mil libras para os SRCs. Constatou-se uma ampla dispersão dos dados no intervalo de 25 mil a 80 mil libras. Isso é indicio de que, nem sempre o veículo trafega lotado [TRB-SR 223, 1989, p. 79 e 82].

9.6. Porque a Europa prefere Romeu-e-Julietta

Uma boa síntese do caminho trilhado pela Europa no transporte de cargas volumosas pode ser encontrada em TRANSPORTE MODERNO [304, maio 1989, p. 14]. No final da década de oitenta, a densidade média das cargas européias era de 300 kg/m³. Dez anos depois, a média situava-se em 200 kg/m³ e a tendência era para cargas ainda mais leves no futuro.

Apesar disso, o uso dos duplos semi-reboques é praticamente inexistente na Europa, onde a legislação limita o comprimento das composições rodoviárias a 18 m e dos SRCs a 15 m, além de restringir o arraste máximo. Qualquer veículo deve ser capaz de executar uma conversão dentro de uma faixa circular de raio externo igual a 12,5 m e raio interno de 5,3 m [RUSSO, 1995, p.20].

Por isso, a configuração mais utilizada para cargas volumosas é o chamado Romeu-e-Julietta³⁶. Para ganhar espaço, esses veículos utilizam cabinas tipo *top-sleeper* (leito no alto da cabina), algumas com apenas 1,33 m de comprimento; e engates curtos (*short couplings*), que diminuem o espaço entre os baús³⁷, mas mantêm a dirigibilidade e a mobilidade do conjunto.

Graças a tais artifícios, é possível acoplar duas unidades de até 8,20 m e capacidade total para até 120 m³, sem ultrapassar os 18 m. Um reboque de 8,20 m pode carregar dezesseis *pallets* ISO de 1,00 x 1,20 m ou vinte *pallets* EURO de 0,80 x 1,20 m. Apesar da resistência de alguns países, especialmente da Alemanha, a essa configuração, em 1989 existiam cerca de 15 mil conjuntos como esse na Europa, 60% deles na Holanda, e o mercado crescia sem parar.

A Holanda possui um centro para testes da segurança do engate curto, o *Lelystad-Testbaan*, localizado perto de Amsterdã. A principal característica do engate holandês é a propriedade de se estender nas curvas. Até 1989, esse centro havia aprovado quatorze diferentes tipos de engates. Existem diversas variações, adequadas para eixos situados nas extremidades do reboque.

Há engates curtos com braços em A combinados com uma mesa giratória; com engrenagens epicíclicas e pistões hidráulicos; com mesas giratórias ligadas a correntes de extensão; e com braços articulados e trilhos deslizantes³⁸. Para ganhar espaço, a lança é colocada por baixo da segunda carreta e o ponto de articulação, bastante recuado.

Um bom exemplo dessa configuração é o *Philips Concept*, um super-reboque que transporta 118 m³ de carga sem ultrapassar os limites de 18 m de comprimento e 4 m de altura. O segredo do sistema está no chassi, de apenas 85 cm de altura, que utiliza suspensão a ar de dimensões reduzidas e pneus menores que os comuns. Isso permite ao baú utilizar 3 m de altura interna³⁹ [TRANSPORTE MODERNO 290, p. 211].

Essa flexibilidade tem seu preço. Diversas partes móveis do engate curto, que trabalham sob imensa pressão, requerem lubrificação constante e exigem, em certos casos, uma unidade central de lubrificação. As diferenças de carga entre as duas carretas exigem, quase sempre,

36 Caminhão com carroçaria tracionando um reboque.

37 Alguns desses veículos chegam a ter apenas 15 cm entre uma carreta e outra.

38 Na curva, cilindros telescópicos ligados ao reboque dianteiro variam de tamanho, determinando o deslocamento do engate nos trilhos. O movimento de retorno é comandado por dois cilindros de ar com válvulas pneumáticas.

39 As outras dimensões são 8,05 m de comprimento interno (8,10 m no total) por unidade e 2,44 de largura interna (2,50 m no total).

suspensão a ar. Um grande frotista, no entanto, estimou que o custo adicional por quilômetro rodado não passa de 0,05 centavos de dólar [TRANSPORTE MODERNO 304, p.17].

Os adversários dessa configuração argumentam que, como o engate se estende nas curvas, os limites legais estariam sendo burlados através de um engodo. Entre eles está a Alemanha, onde a maioria dos reboques não passa de 7,15 m de comprimento. O engate curto enfrenta oposição também dos sindicatos de motoristas holandeses. Numa pesquisa entre os motoristas, 77% foram contrários ao *top sleeper*, por questões de segurança, conforto e conveniência. Na verdade, os motoristas holandeses sentem-se mais protegidos e mais confortáveis em cabinas de pelo menos 2,5 m de comprimento. Temem ainda que o *top sleeper* aumente os riscos em caso de incêndios [TRANSPORTE MODERNO 304, p. 14].

9.7. Resumo e análise

1. O transporte de carga americano está sujeito aos regulamentos da *ICC-Interstate Commerce Commission*, que divide os operadores em duas categorias básicas: os transportadores a frete e os transportadores privados (de carga própria). Entre os transportadores a frete, destacam-se as categorias dos transportadores comuns e dos transportadores sob contrato, onde se encontram os maiores operadores do DSR. O *Motor Carrier Act* de 1980 abrandou bastante as diferenças entre os vários segmentos do setor de transportes.
2. A dispersão dos povoados e centros urbanos dos Estados situados a oeste do Mississippi cria a necessidade de veículos mais longos e mais pesados, com múltiplas unidades, que possam ser deixadas em diversos pontos de descarga. Obtem-se, assim, maior capacidade de carga, com economia de combustível e de custo operacional.
3. Os *rocky mountain doubles* são mais estáveis que os *twins* e mais fáceis de manobrar que do que os *turnpike doubles*.
4. Devido às suas deficiências em curvas, os *turnpike doubles* são confinados a rodovias interestaduais e rodovias a pedágio e geralmente são obrigados a desmembrar suas unidades dentro das cidades. É a mais estável de todas as configurações da família dos *doubles*.
5. Eficientes no transporte de cargas de baixa densidade com coleta e entrega em múltiplos pontos, os *triples* têm arraste reduzido, mas apresentam baixo limiar de estabilidade.
6. As vantagens dos *twins* incluem a maior capacidade cúbica em relação aos semi-reboques comuns (nove *twins* de 28 pés substituem dez SRCs de 48 pés), a redução da quilometragem rodada, a possibilidade transportar mais cargas unitizadas e a eliminação de manuseios intermediários.
7. As desvantagens dos *twins* incluem estão o maior custo de movimentação das carretas nos terminais, o maior investimento nos veículos e nos terminais, os maiores custos de manutenção e os maiores salários dos motoristas.

- 8./O uso dos *doubles* cria problemas logísticos e operacionais tais como impossibilidade de dar marcha-a-ré, exigência de maior número de baías, maior tempo de processamento por veículo (a menos que se carreguem as duas carretas ao mesmo tempo), local seguro para deixar a carreta no destino intermediário, dificuldade de operar em rotas com desequilíbrio de fluxo, dificuldade para transportar cargas indivisíveis, adaptação do tamanho dos lotes à capacidade do equipamento e quebra de padronização da frota etc/
9. Os grandes usuários dos *twins* nos Estados Unidos são os transportadores comuns e sob contrato regulados pela ICC. As mercadorias mais transportadas por por essa configuração são cargas fracionadas mistas e pequenas encomendas. Na Califórnia, os *twins* transportam também produtos agrícolas e alimentos.
- 10.Geralmente, as carroçarias dos *twins* são furgões para carga seca. Na Califórnia essa configuração usa também plataformas, graneleiros e tanques.
- 11!Os rigorosos limites de comprimentos dos veículos e de raios de giro em vigor na Europa impedem a utilização do DSR e tem levado ao desenvolvimento de unidades Romeu-e-Julietta dotadas de engates especiais e tracionadas por cavalos de cabina avançada e curta, que maximizam o aproveitamento do comprimento do veículo!

CAPÍTULO 10

A EXPERIÊNCIA E A OPINIÃO DOS OPERADORES BRASILEIROS

Neste capítulo, levantam-se a incipiente experiência brasileira com o DSR e a opinião dos operadores sobre esta configuração. A maior parte dos dados foram colhidos através de questionário estruturado. Sete transportadoras de carga comum fracionada foram visitadas pessoalmente e as informações obtidas, usadas para complementar os resultados numéricos. Foram visitadas também as duas únicas usuárias do DSR no Brasil.

10.1. Estrutura da pesquisa de campo

Foi desenvolvida uma pesquisa para levantar dados sobre as rotas, densidades de carga, configurações utilizadas no transporte brasileiro de carga volumosa, disposição dos frotistas de usar o DSR, restrições legais a que estariam dispostos a se submeter, cuidados operacionais que estariam dispostos a adotar, comprimentos ideais das carretas, preferências em relação aos tipos de *dollies* e em relação ao tipo de cabina etc.

10.1.1. Método utilizado

Utilizou-se um questionário estruturado e fechado, contendo perguntas diretas, não disfarçadas. Embora exija questões formuladas de maneira clara e correta, este método facilita a quantificação e a tabulação dos resultados.

Naturalmente, esta opção tem desvantagens, tais como o baixo retorno, a falta de flexibilidade, eventual dificuldade de quem responde para entender as perguntas com clareza e distorções na amostragem, uma vez que, geralmente, só as pessoas mais interessadas no assunto costumam colaborar. No entanto, além de reduzir custos e evitar qualquer influência do entrevistador sobre as opiniões do entrevistado, esta acabou sendo a única solução

viável, devido à grande área geográfica da pesquisa¹ (o que impediria a entrevista pessoal) e à extensão do questionário² (o que inviabilizaria entrevistas por telefone).

O projeto-piloto incluiu o teste do questionário. Para aprofundar algumas questões, testar e corrigir a formulação das perguntas, o formulário foi aplicado pessoalmente em dez transportadoras do Estado de São Paulo³.

Na pesquisa principal, 548 questionários foram enviados pelo correio em dezembro de 1994, utilizando-se a lista de empresas que fornecem balanços para o anuário “AS MAIORES DO TRANSPORTE”, da Editora TM Ltda. As empresas que não devolveram a pesquisa no prazo de um mês foram cobradas por carta. Nos casos em que o destinatário alegou extravio da correspondência, o questionário foi reenviado.

Foram obtidas 125 respostas utilizadas na tabulação e outras cinco não computadas por terem chegado após a conclusão dos trabalhos⁴. Isso significa uma taxa de retorno de 23,6%, que pode ser considerada boa.

A tabulação e o cruzamento das informações foram feitos utilizando-se o programa de gerenciamento de dados *d-Base III plus*. Em muitos casos, utilizaram-se telefone e cartas para esclarecer dúvidas e solicitar informações adicionais.

10.1.2. Distribuição por especialidades

Para melhor analisar certas questões, foi necessário segmentar os 125 operadores. Isso apresenta alguma dificuldade, não só porque geralmente uma mesma transportadora opera várias especialidades, como também porque o número de combinações possíveis entre tais especialidades é muito grande.

Para a finalidade deste trabalho, parte-se da hipótese, baseada na experiência norte-americana⁵, de que o uso do DSR é bastante compatível com o transporte de cargas fracionadas de baixa densidade, pouco compatível com o transporte de cargas comuns não fracionadas e praticamente incompatível com o transporte de cargas especializadas, particularmente daquelas que exigem carretas especiais.

1 Todo o território nacional.

2 Dezenove perguntas.

3 Nas visitas, foram levantadas outras informações, incluídas neste capítulo.

4 Veja a relação das empresas no ANEXO G.

5 Veja os usos típicos do *twin* americano no capítulo 9.

Para testar tal hipótese, os frotistas foram divididos em três categorias convenientes:

1. Empresas que transportam exclusivamente carga fracionada ou que têm entre suas especialidades o transporte de carga fracionada;
2. Empresas que transportam exclusivamente ou têm entre suas especialidades o transporte de cargas comuns não fracionadas⁶;
3. Empresas que não movimentam carga comum, mas apenas cargas especializadas⁷.

A amostra contém 50 empresas do grupo 1, 39 empresas do grupo 2 e 36 empresas do grupo 3. Computada por especialidade, a amostra contém a distribuição da *tabela 10-1*. Das 125 empresas, há representantes de dezesseis especialidades, predominando lotação (59), carga comum fracionada (48), grandes massas (44), carga fracionada urgente (31), carga líquida (28), graneis sólidos (23) e carga siderúrgica (17).

TABELA 10-1
ESPECIALIDADES DAS EMPRESAS PESQUISADAS

ESPECIALIDADE	EMPRESAS	PROPORÇÃO	INT. CONF.
Lotação	59	0,472	0,384-0,560
Comum fracionada	46	0,368	0,283-0,453
Grandes massas	44	0,352	0,268-0,436
Fracionada urgente	31	0,248	0,172-0,324
Carga líquida ⁸	29	0,232	0,158-0,306
Produtos perigosos ⁹	27	0,216	0,144-0,288
Graneis sólidos/fertilizantes	25	0,200	0,130-0,270
Cargas siderúrgicas	17	0,136	0,076-0,196
Bebidas	14	0,112	0,057-0,167
Cargas frigorificadas	11	0,088	0,038-0,138
Contêineres	11	0,088	0,038-0,138
Cargas indivisíveis	10	0,080	0,032-0,128
Produtos sensíveis	7	0,056	0,016-0,096
Mudanças	7	0,056	0,016-0,096
Veículos zero-km	1	0,008	Não calculado
Valores	1	0,008	Não calculado
Lotação + Grandes Massas	77	0,616	0,531-0,701
Fracionada (comum + urgente)	50	0,400	0,314-0,486

6 No segundo caso, essas empresas podem ser classificadas como *mistas*, pois transportam tanto carga comum não fracionada quanto cargas especializadas.

7 Com uma ou mais especializações.

8 Doze empresa assinalaram tanto "carga perigosa" quanto "carga líquida". É razoável deduzir que elas transportam, na verdade, carga líquida perigosa (principalmente, álcool e derivados de petróleo). Portanto, a soma das empresas que compõem os dois grupos devem ser subtraídas desse valor. Embora existam, de fato, cargas líquidas não perigosas, a classificação adotada no questionário deixou a desejar.

9 Ver nota anterior. Os operadores desse setor não gostam da denominação "cargas perigosas", trocada aqui por "produtos perigosos".

Das cinquenta empresas do grupo 1, apenas dez operam exclusivamente com carga fracionada, seja comum ou urgente; 23 transportam também cargas comuns não fracionadas (lotação e grandes massas); enquanto dezessete atuam simultaneamente nos ramos de carga comum e especializada; e dez delas operam em mais de cinco segmentos. Isso indica ausência de especialização na carga comum fracionada.

Das 39 empresas da classe 2, apenas dez dedicam-se exclusivamente à carga comum não fracionada. As restantes têm especialidades que variam de duas (quatro delas), três (sete), quatro (nove), cinco (quatro) ou mais de cinco (cinco). Persiste, portanto, a ausência de especialização.

O grupo 3 apresenta maior grau de especialização. Nada menos do que 28 das 36 empresas dedicam-se a uma única especialidade; cinco atuam em dois ramos, duas operam em três setores; e somente uma atua em quatro segmentos.

A tabela apresenta também uma estimativa (com intervalo de confiança de 95%) da proporção no universo das empresas de cada especialidade. Para tanto, utilizou-se a proporção das empresas na amostra para se estimar a proporção existente no universo. Os limites inferior e superior foram determinados conforme HOEL [1972, p. 126]¹⁰.

Como a amostra é relativamente pequena, os intervalos de confiança são grandes, o que torna algumas diferenças (principalmente entre especialidades vizinhas quando listadas por ordem decrescente) não significativas. Pode-se afirmar, por exemplo, que não existem diferenças significativas entre a proporção da carga comum fracionada e as duas especialidades acima ou as três abaixo dela, uma vez que seus intervalos de confiança contêm interseções. Conclui-se, portanto, que a carga comum fracionada está entre as seis especialidades operadas pelo maior número de empresas. Da mesma forma, o transporte de carga urgente está, na pior das hipóteses, entre as oito especialidades operadas pelo maior número de empresas.

Este peso fica mais evidente quando se fundem as duas especialidades numa única classe. Fazendo-se o mesmo com as modalidades *lotação* e *grandes massas*, resultam dois grupos que passam a liderar o setor. A carga comum fracionada, no entanto, passa a ocupar a segunda colocação, ficando a carga líquida em terceiro lugar, numa escala em que todas as diferenças são estatisticamente significativas. Pode-se concluir, portanto, que a carga fracionada tem um peso significativo na indústria de transportes, sendo operada por 31,4% a 48,6% das empresas do setor.

$$10 \quad p' - 1,96 \sqrt{\frac{p'q'}{n}} < p < p' + 1,96 \sqrt{\frac{p'q'}{n}}$$

p = proporção da especialidade no universo

p' = proporção da especialidade na amostra

q' = 1 - p'

n = número de empresas na amostra (125)

1,96 = valor de $Z_{(2,5\%)}$

10.1.3. Área de atuação das empresas

As 125 empresas pesquisadas têm sedes em quatorze diferentes (*tabela 10-2*) Estados, principalmente em São Paulo (56 empresas), Minas Gerais (18), Rio Grande do Sul (9), Paraná (8) e Santa Catarina (7).

TABELA 10-2
ESTADOS E PAÍSES COBERTOS PELA AMOSTRA

ESTADO OU PAÍS	QUESTION. ENVIADOS	QUESTION. RESPONDIDOS	EMPRESAS QUE OPERAM NO ESTADO*
Acre	0	0	6
Amazonas	4	0	13
Pará	2	0	15
Amapá	0	0	7
Roraima	0	0	7
Maranhão	0	0	15
Piauí	0	0	12
Paraíba	3	1	15
Ceará	9	2	19
Rio Grande do Norte	1	0	27
Pernambuco	8	3	24
Sergipe	0	0	19
Alagoas	2	1	17
Bahia	17	5	35
Minas Gerais	68	18	54
Espírito Santo	13	3	22
Rio de Janeiro	58	6	55
São Paulo	202	56	96
Paraná	47	8	40
Santa Catarina	30	7	26
Rio Grande do Sul	64	9	27
Distrito Federal	3	2	13
Goiás	13	3	35
Tocantins	0	0	11
Mato Grosso do Sul	4	1	22
Mato Grosso	0	0	24
Rondônia	0	0	10
Argentina	0	0	5
Uruguai	0	0	4
Paraguai	0	0	3
Chile	0	0	3
Total	548	125	489

*Entre as 125 que responderam.

As áreas de atuação das 106 empresas que forneceram esta informação concentram-se nos Estados de São Paulo (96 empresas), Rio de Janeiro (55), Minas Gerais (54), Paraná (40), Goiás (33), Mato Grosso (24), Pernambuco (24) e Mato Grosso do Sul (22). Mas, todos os Estados e Territórios, além de quatro países vizinhos (Argentina, Chile, Uruguai e Paraguai) são cobertos, no mínimo, por uma delas¹¹. Cada empresa opera, em média, em 3,9 Estados.

10.1.4. Visitas pessoais

Com o objetivo de conhecer melhor a maneira de operar do setor, sete empresas de carga fracionadas foram visitadas pessoalmente. São elas:

1. Classificada pelo anuário AS MAIORES DO TRANSPORTE (1984, p. 18), como a terceira maior transportadora do país, a DOM VITAL¹² realiza transporte itinerante para todo o Brasil, exceto para o Centro-Oeste¹³;
2. Com sede em São Paulo, o EXPRESSO ARAÇATUBA¹⁴ atende ao Centro-Oeste do país. Transporta tipos variados de cargas secas¹⁵. É especializada em carga comum fracionada urgente, lotação e grandes massas. Transporta também cargas fracionadas perigosas;
3. O EXPRESSO MIRA¹⁶ opera transportando cargas fracionadas (comuns e urgentes), lotação, grandes massas, bebidas e produtos perigosos do Rio de Janeiro, São Paulo, Curitiba e Blumenau para todo o Centro-Oeste (Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Goiás, Rondônia e Acre) e ainda para a Bolívia e o Paraguai.
4. Atuando principalmente no transporte urgente de produtos de farmacêuticos, o grupo ITD¹⁷ opera praticamente em todo o Brasil;
5. Com sede em Rio Claro-SP, a PARTEZANI¹⁸ opera nos Estados de São Paulo, Minas e Rio de Janeiro;
6. Dedicada ao transporte de carga comum fracionada, a RÁPIDO COMETA¹⁹ opera principalmente nas rotas de São Paulo, Rio de Janeiro e Belo Horizonte para o Norte o Nordeste exceto Manaus. Faz também a rota São Paulo-Porto Alegre;

11 Algumas empresas não especificaram todos os Estados em que operam, limitando-se a informações do tipo "todo o território nacional", "norte", "nordeste" etc. Alguns valores podem, portanto, estar superestimados.

12 Ouvidos o diretor Antero Carneiro Ribeiro e assessores.

13 A empresa atende Goiânia e Brasília, mas não chega ao Mato Grosso do Sul, Mato Grosso e Rondônia.

14 Informações prestadas por João Carlos Januário, gerente de Logística.

15 A empresa chama essa variedade de "bagulho".

16 Ouvido o diretor Carlos Mira e o gerente Operacional Valmir S. Almeida.

17 Ouvido o diretor Gilvan Ferreira.

18 Ouvido o diretor superintendente, João Partezani Neto.

19 Ouvido o gerente Operacional, Edson Rafael.

7. Com sede em Americana-SP, a TA-TRANSPORTADORA AMERICANA²⁰ liga o interior de São Paulo à capital, ao Rio de Janeiro e ao interior de Minas.

10.2. Resultados da pesquisa

A seguir, apresentam-se alguns dos resultados da tabulação do questionário acrescidos de informações julgadas relevantes, obtidas através das visitas pessoais.

10.2.1. Rotas em pistas duplas

Embora a extensão de rodovias de pistas duplas existente no país seja muito pequena, constata-se que sessenta das 125 empresas pesquisadas (48%) têm pelo menos algumas rotas nas quais a maior parte do percurso é feito em rodovias desse tipo²¹. Esse índice (*figura 10-1*) atinge 60% (trinta empresas) para as operadoras do grupo 1, 53,8% para as do grupo 2 (21 respostas) e apenas 25% para as do grupo 3 (9 transportadoras).

FIGURA 10-1
Número de empresas que operam rotas de pista dupla

20 Ouvidos os diretores Adalberto e Carlos Pansan.

21 Rotas onde as dificuldades para se obter autorização especial de trânsito para o DSR são menores, mesmo dentro da restritiva legislação atual (Resolução 631).

É preciso verificar se existem diferenças significativas entre a proporção de empresas de cada grupo que opera em pistas duplas.²² As diferenças entre as proporções obtidas para as empresas dos grupos 1 e 2 não são estatisticamente significativas²³. Já as diferenças entre as proporções obtidas entre as transportadoras das categorias 1 e 3 e entre 2 e 3 são significativas²⁴. Pode-se afirmar, portanto, com nível de significância de 5%, que a proporção das empresas de cargas comuns, fracionadas ou não, que operam rotas de pistas duplas e sentido único é significativamente maior do que entre as de cargas especializadas.

Entre as sete transportadoras visitadas, as empresas que têm a maior parte de suas rotas em pistas duplas são as de linhas mais curtas, como a Transportadora Americana e a Partezani, que ligam o interior de São Paulo ao Sul de Minas e ao Rio de Janeiro; ou empresas que, mesmo atendendo a uma área geográfica maior, operam nos Estados do Rio e São Paulo, como é o caso da ITD Transportes.

Há empresas que, mesmo usando intensamente as rodovias de pista dupla, não se enquadram na situação acima, porque fazem rotas longas. É o caso, por exemplo, da Dom Vital; ou da Rápido Cometa, que atende a região Nordeste, mas não mantém uma linha específica de São Paulo para o Rio²⁵; ou do Expresso Mira, que opera de Rio e São Paulo para o Sul e Centro-Oeste do país; ou ainda do Expresso Araçatuba, que liga São Paulo ao Centro-Oeste.

10.2.2. Rotas mistas

Sessenta e quatro entre 125 empresas (51,2%) já operam as chamadas rotas mistas²⁶. Segmentando-se a amostra, constata-se que essas rotas são operadas por 34 empresas do grupo 1 (68%), 18 empresas do grupo 2 (46,1%) e apenas doze empresas (33,3%) do grupo 3 (figura 10-2).

22 De acordo com COSTA NETO (1991, p. 118/119), esse teste pode ser realizado utilizando-se a seguinte fórmula:

$$Z = \frac{p'_1 - p'_2}{\sqrt{p'q'[(1/n_1) + (1/n_2)]}} \quad p' = \frac{f_1 + f_2}{n_1 + n_2}$$

onde n_1 e n_2 são os números de elementos das amostras, q' é o complemento de p' .

Com nível de significância de 95%, a hipótese de que a diferença não é estatisticamente significativa será aceita sempre que o Z calculado resultar menor do que 1,96²² e vice-versa.

23 $Z_{(1,2)} = 1,59$

24 $Z_{(1,3)} = 3,22$ e $Z_{(2,3)} = 2,54$.

25 As duas filiais apenas trocam caminhões vazios.

26 Aquelas onde ocorre carga e descarga num terminal intermediário entre o início e o fim da rota.

FIGURA 10-2
Empresas que operam rotas mistas

Existem diferenças significativas entre a proporção do grupo 1 em relação ao grupo 2 e ao grupo 3²⁷. Pode-se afirmar, com nível de significância de 5%, que é maior a proporção das transportadoras de cargas fracionadas que operam rotas mistas do que nos demais grupos.

A maioria das empresas entrevistadas admite que, embora não seja grande, existe a necessidade de se deixar cargas em terminais intermediários. É o caso, por exemplo, da Dom Vital, na rota São Paulo-Porto Alegre, passando por Curitiba e Florianópolis; ou do Expresso Araçatuba em percursos como São Paulo-Cuiabá-Campo Grande, São Paulo-Bauru-Araçatuba, São Paulo-Uberlândia-Goiânia, São Paulo-Rio Verde-Goiânia etc; ou ainda da Transportadora Americana no trajeto Campinas-Araraquara-Rio Preto. Para eliminar as rotas mistas, o Expresso Mira criou em Campo Grande-MT um *transit point*²⁸ para Cuiabá, Sinope, Dourados, Barra do Garça etc.

Alguns frotistas que não operam esse tipo de rota afirmaram que poderiam vir a criá-lo se pudessem substituir os atuais caminhões trucados ou semi-reboques pelos DSRs. Entre as sete transportadoras visitadas, a exceção é a Cometa, que não tem cargas ou descargas intermediárias e despacha no mínimo uma carreta completa para cada praça destino.

²⁷ $Z_{(1,2)} = 1,98$; $Z_{(1,3)} = 3,21$ e $Z_{(2,3)} = 1,13$

²⁸ Terminal intermediário de triagem e reprocessamento.

10.2.3. Cargas com densidade inferior a 200 kg/m³

Solicitou-se às transportadoras que estimassem o percentual das cargas por elas transportadas que tem densidade inferior a 200 kg/m³ [29]. O resultado foi o da *tabela 10-3*. Constata-se que mais de metade da carga de 47,6% (20 em 42) das empresas de carga fracionada tem densidade igual ou inferior a 200 kg/m³. Esse percentual reduz-se a 26,6% para as cargas comuns não fracionadas (8 em 30) e para apenas 3,44% (1 em 29) para as cargas especializadas.

Na média, as proporções das cargas com densidade inferior ao limite fixado é de 45,6% no grupo 1, de 23,7% no grupo 2 e de 5,0% no grupo 3. Para verificar se as diferenças entre as médias são estatisticamente significativas, realizou-se uma análise de variância³⁰.

Constata-se que existem diferenças significativas entre as três médias³¹. Para se identificar onde estão essas diferenças, pode-se analisar as variâncias dos três conjuntos de amostras dois a dois. Conclui-se que os percentuais médios de cargas com densidade inferior a 200 kg/m³ são estatisticamente diferentes para cada um dos três grupos de transportadores³². As empresas do grupo 1 têm proporção de cargas com densidade média abaixo de 200 kg/m³ maior do que as do grupo 2. Estas, por sua vez, têm maior proporção de rotas abaixo de tal limite do que as do grupo 3.

29 Valor correspondente a cerca de 12,5 libras/pé cúbico, considerado pelos americanos ideal para o *twin trailer truck*.

30 Conforme COSTA NETO (191, p. 158 a 159), no caso de amostras de tamanhos diferentes, tal análise deve ser feita comparando-se os valores F_1 e F_2 :

$$F_1 = \frac{S_E^2}{S_R^2} \quad F_2 = F_{k-1, \sum n_i - k, \alpha} \quad S_R^2 = \frac{SQR}{\sum n - k} \quad S_E^2 = \frac{SQE}{k-1} \quad SQE = \sum_{i=1}^k \frac{T_i^2}{n_i} - \frac{T^2}{\sum_{i=1}^k n_i}$$

$$SQR = Q - \sum_{i=1}^k \frac{T_i^2}{n_i} \quad SQT = Q - \frac{T^2}{\sum_{i=1}^k n_i} \quad SQT = SQR + SQE$$

T_i = Soma dos valores da i-ésima amostra; Q_i = Soma dos quadrados dos valores da i-ésima amostra; T = Soma total dos valores; Q = Soma total dos quadrados; SQE = Fonte de variação entre amostras; SQR = Fonte de variação residual; SQT = Fonte de variação total; k = Número de amostras; n_i = Tamanho das amostras; α = Nível de significância.

31 $F_{calc.} = 18,4$; $F_{tab} = F_{(2,5\%,99)} = 3,09$

32 $F_{calc.(1,2)} = 8,11$; $F_{calc.(1,3)} = 54,93$; $F_{calc.(1,3)} = 6,44$
 $F_{tab} = 4,00$ (aproximadamente).

TABELA 10-3
CARGAS COM DENSIDADE MENOR QUE 200 kg/m³: PERCENTAGEM X
NÚMERO DE EMPRESAS (VALORES ACUMULADOS)

PERCENTUAL	GRUPO 1	GRUPO 2	GRUPO 3	SOMAS
0	2	13	22	
2	2	16	22	
5	2	19	25	
10	6	22	25	
15	7	22	26	
20	10	22	26	
25	13	22	27	
30	16	22	27	
35	18	22	27	
40	21	22	28	
45	22	22	28	
50	26	24	29	
60	30	24	29	
65	31	24	29	
70	35	24	29	
75	36	24	29	
80	39	26	29	
90	40	26	29	
100	42	26	29	
subtotal	42	30	29	101
N. responderam	8	9	7	24
Totais	50	39	36	125
S. Termos (T _i)	1 915	711	145	2 771
Médias	45,6	23,7	5,0	26,4
S. Quadr. (Q _i)	118 425	58 187	5 025	181 637

10.2.4. Rotas e densidades

Se as variações das densidades por rotas forem pequenas, a empresa, mesmo operando com alto percentual de carga leve³³, pode sempre amenizar ou até eliminar o problema de cubagem, combinando, num único carregamento, lastro de elevado peso específico com cargas volumosas na parte superior do baú. Se, no entanto, houver grande variação de peso específico nas rotas, esse artifício pode não funcionar. Por isso, solicitou-se também às

³³ Cargas que atingem o limite de volume antes de completarem o limite de peso.

transportadoras que estimassem que percentual de suas rotas têm densidade abaixo de 200 kg/m³. Os resultados foram os da tabela 10-4.

TABELA 10-4
ROTAS COM DENSIDADE MENOR QUE 200 kg/m³: PERCENTAGEM X
NÚMERO DE EMPRESAS (VALORES ACUMULADOS)

PERCENTUAL	GRUPO 1	GRUPO 2	GRUPO 3	SOMA
0	3	11	21	35
2	3	12	21	36
3	3	13	21	37
5	4	17	22	43
10	8	18	24	50
15	9	18	24	51
20	12	18	25	55
25	13	18	26	57
30	17	19	27	63
40	21	20	27	68
50	25	21	28	74
60	28	21	28	77
65	29	21	28	78
70	31	21	29	81
80	33	23	29	85
90	35	23	29	87
100	43	27	29	99
Subtotal (n)	43	27	29	99
N. Responderam	7	12	7	26
Total	50	39	36	125

Conclui-se que existem diferenças significativas entre os percentuais médios das rotas³⁴. A nível de significância de 5%, todas as diferenças entre as médias, tomadas duas a duas, são estatisticamente significantes. As empresas do grupo 1 têm maior proporção de rotas com densidade inferior a 200 kg/m³ do que as da categoria 2. Essas, por sua vez, têm maior proporção de rotas com tal característica do que as da classe 3.

No caso particular das sete empresas visitadas pessoalmente, constatou-se que apenas duas tinham rotas com densidades diferenciadas. Uma delas é a Partezani, onde as latas de alumínio transportadas são sensivelmente mais leves do que as cargas de outras rotas. Outra

34 $F_{\text{calc}} = 15,55$ $F_{\text{tab}} = 3,11$

foi a Mira, na movimentação de produtos da Hering de Blumenau para Foz do Iguaçu. Nos demais casos, as densidades por rotas foram uniformes.

10.2.5. Densidade das cargas fracionadas

Solicitou-se às empresas do grupo A, através de carta posterior ao recebimento do questionário, que estimassem a densidade média das cargas fracionadas que transportam. Essa estimativa, naturalmente, é bastante imprecisa. Foram obtidas 29 respostas, que permitiram a montagem da *tabela 10-5*.

TABELA 10-5
ADERÊNCIA DAS DENSIDADES DA CARGA FACIONADA
A UMADISTRIBUIÇÃO NORMAL

DENSID. MÁXIMA (kg/m ³)	FREQ. ABS. ACUM.	FREQ. REL. ACUM.	VALOR DE Z	FREQ. REL. TEÓRICA ACUM.	DIFERENÇAS
0,1-40	2	0,0690	-1,92	0,0274	-0,0416
41-80	3	0,1034	-1,45	0,0735	-0,0299
81-120	4	0,1379	-0,98	0,1635	0,0256
121-160	10	0,3448	-0,51	0,3050	0,0398
161-200	14	0,4828	-0,04	0,4840	0,0012
201-240	20	0,6897	0,44	0,6700	-0,0197
241-280	22	0,7586	0,91	0,8186	0,0600
281-320	27	0,9310	1,38	0,9162	0,0148
321-360	29	1,0000	1,85	0,9678	-0,0322
d_{máx} = 0,2530					

O quadro mostra que quatorze das 29 empresas (48,3%) de carga fracionada operam com carga de densidade abaixo de 200 kg/m³ ³⁵. Na faixa de 160 a 240 kg/m³, ideal, em termos de custos, para DSRs entre 8,60 a 9,40 m de comprimento³⁶, estão dez empresas (34,5%). Na faixa inferior a 160 kg/m³, onde DSR mais longos poderiam reduzir os custos, situam-se outras dez empresas³⁷ (34,5%). As nove restantes (31,0%) operam mercadorias com densidades superiores a 240 kg/m³, para as quais o DSR só teria menor custo operacional em rotas mistas.

A densidade média obtida foi de 202 kg/m³, valor estatisticamente igual aos 200 kg/m³ fixados como limite para a carga volumosa. Apesar do pequeno tamanho da amostra,

35 Essa proporção é compatível com a obtida para as 50 empresas de carga fracionada através da pergunta direta sobre a proporção de carga com densidade abaixo de 200 kg/m³.

36 Veja capítulo 14.

37 Mercadorias de grande volume e baixo peso específico, como produtos de higiene e limpeza, embalagens de plástico e de alumínio para bebidas, encomendas, calçados, confecções e eletrodomésticos.

a média é estatisticamente compatível com o resultado obtido, sete anos atrás, para a carga fracionada americana, de 13,15 libras por pé cúbico (210 kg/m^3). O desvio-padrão vale 85, indicando grande dispersão. A carga fracionada americana mostrava uma distribuição assimétrica, com a cauda para a esquerda [KOLLINS,1988, p. 23]. No caso da amostra acima, no entanto, um teste de Kolmogorov-Smirnov, com nível de significância de 5%, mostra que os dados aderem bem a uma normal, com média 203 e desvio-padrão 85 (*figura 10-3*).

FIGURA 10-3:
Distribuição das freqüências acumuladas da densidade

Entre as sete empresas visitadas pessoalmente, três operam cargas com densidades próximas dessa média. São elas a Dom Vital (208), Expresso Araçatuba (215) e Rápido Cometa (201). Há outras com valores mais altos: Mira (250), Partezani (250) e ITD (350). Apenas uma, a Americana, que transporta confecções e produtos de higiene pessoal, mostra densidade bem abaixo da média (100 kg/m^3). Isso acontece também com parte (30%) da carga da Partezani, constituída por latas vazias de cerveja, cujo peso específico é de cerca de 50 kg/m^3 .

10.2.6. Frota própria

As 116 empresas que informaram o número de veículos operam a frota própria da *tabela 10-6*. No global, a configuração mais utilizada (39,8%) é o cavalo de dois eixos tracionando carreta de três eixos. Em segundo lugar ficam os caminhões trucados (28,2%) e em terceiro, os cavalos de dois eixos com carretas de dois eixos (15,7%), empatados com cavalos de três

TABELA 10-6
FROTA PRÓPRIA DAS EMPRESAS PESQUISADAS

CONFIGUR.	GRUPO 1		GRUPO 2		GRUPO 3		TOTAL	
	UNID.	PERC.	UNID.	PERC.	UNID.	PERC.	UNID.	PERC.
1.Cam. truc.	1312	53,8	139	6,2	297	19,8	1748	28,2
2.Cv.2E+Car.2E	441	18,1	388	17,2	144	9,6	973	15,7
3.Cv.2E+Car.3E	606	24,8	1010	44,7	853	56,8	2469	39,8
4.Cv.3E+Car.3E	53	2,2	711	31,5	206	13,7	970	15,7
5.Romeu-e-Jul.	27	1,1	4	0,2	1	0,1	32	0,5
6.Rodotrem	0	0,0	5	0,2	0	0,0	5	0,1
TOTAIS	2 439	100,0	2257	100,0	1501	100,0	6197	100,0
Respostas	50		38		28		116	
N. responderam	0		1		8		9	
Total empresas	50		39		36		125	
Veic./empresa	48,8		59,4		53,6		53,4	

Nem todas as diferenças são significativas. Numerando-se de 1 a 4 de cima para baixo as quatro principais frotas, só são estatisticamente diferentes as proporções das frotas 2 e 3³⁹ e das frotas 3 e 4. As demais não mostram diferenças significativas⁴⁰.

Essa hierarquia sofre ligeiras alterações conforme o tipo de carga. Nas operadoras de carga fracionada, o maior número de veículos é constituído por caminhões trucados (53,8%), enquanto as carretas leves (2 eixos) também melhoram de posição. Constata-se que essas transportadoras utilizam em maior escala do que as demais os caminhões trucados e os cavalos de dois eixos tracionando carretas de dois eixos, configurações adequadas para o transporte de cargas de média ou baixa densidade. Juntos, esses dois tipos de veículos representam 71,9% da frota total das transportadoras de carga comum fracionada, 23,4% da frota das transportadoras de carga comum não fracionada e 29,4% da frota das transportadoras especializadas. Em compensação, as carretas mais pesadas (3 eixos) ganham destaque nas empresas dos tipos 2 e 3, onde representam respectivamente 76,2% e 70,5% da frota.

39 Aplicando-se a fórmula

$$p' - 1,96\sqrt{\frac{p'q'}{n}} < p < p' + 1,96\sqrt{\frac{p'q'}{n}},$$

resultam intervalos de confiança 0,091-0,223 para a proporção da frota 2 ou 4; e de 0,325-0,471 para a proporção da frota 3.

40 A proporção da frota 1 tem intervalo de confiança 0,200-0,364.

Não foram determinados os intervalos de confiança para as configurações médias dentro de cada segmento porque as amostras são pequenas, tornando pouco significativas as variações. Em compensação, a maior participação das configurações leves na classe 1 em relação às demais é tão grande que dispensa teste para se concluir pela sua significância.

10.2.7. Romeu e Julieta

As 36 unidades Romeu-e-Julieta pertencem a apenas seis das 119 empresas que informaram a frota no questionário. São elas a Dom Vital (5), Coopertans (2), Rodotigre (20) Giovanella (2), Granero (2) e Coca-Cola Refresco Ipiranga S.A. (1).

A Rodotigre⁴¹ usa vinte unidades Romeu-e-Julieta de quatro eixos⁴² com carroçarias abertas de 6,5 m cada, na transferência de tubos leves de PVC (a carga máxima por unidade raramente ultrapassa 8 t) de 6 m de comprimento. A empresa relata apenas dois tombamentos da última unidade em vinte anos, ambos ocorridos mais de dez anos atrás, e confirma a tendência da última unidade de amplificar as oscilações laterais. Como o equipamento utiliza molas curtas, chega a danificar cargas mais sensíveis, como latas e tambores de tinta. Os motoristas da empresa conseguem manobrar o equipamento nos terminais sem desengatar.

A Copagril Transportes Rodoviários, relata que, no início de suas atividades, em 1977, chegou a adquirir vinte unidades Romeu-e-Julieta de sete eixos para transporte de grãos. Quase todas as Julietas se perderam em acidentes sérios provocados pela excessiva oscilação, o que levou a empresa a abandonar essa configuração em 1988.

A Granero tem duas unidades Romeu-e-Julieta de quatro eixos, com capacidade de cerca de 100m³ ^[43], tracionadas por VW 13130 e utilizadas no transporte de cargas leves e volumosas (mudanças). Uma delas, com molas mais curtas, foi encostada, pois causava muita avaria nas cargas.

A Coca Cola Refrescos Ipiranga, de Ribeirão Preto, opera uma única unidade, de quatro eixos, tracionada por VW 16 210H, no transporte de engradados de bebidas, cheios na ida, vazios na volta, em rotas de até 200 km de raio. As molas da carreta são relativamente longas, o que evita avarias. O veículo tem a mesma aplicação dos convencionais. A empresa avalia que essa configuração não apresenta vantagens, mas também não tem trazido problemas.

A Giovanella opera duas unidades Romeu-e-Julieta de seis eixos (31 t de carga líquida) e três treminhões de sete eixos (37 t de carga líquida) no transporte de grãos. A empresa reclama apenas que as duas unidades não podem ser pesadas juntas nas balanças.

41 Informações fornecidas pelo gerente da Divisão de Vendas, Sílvia Schoeder, e pelo gerente da Divisão Operacional, Alcides Cristofolini.

42 As unidades de tração são caminhões tipo *toco*, tanto MBB (1618, 1625 e 1718) quanto VW (16210 e 1620).

43 As unidades da Granero têm o baú da frente maior do que o de trás, quando a capacidade de carga do Romeu é maior do que a da Julieta.

A Coopertrans⁴⁴ usa dois conjuntos Romeu-e-Julietta de quatro eixos, tracionados por MBB 1218 no transporte de produtos eletrônicos e calçados de baixa densidade. A empresa tira partido do aspecto logístico, deixando a Julieta nos destinos intermediários.

Por fim, a Dom Vital, uma das maiores transportadoras de carga fracionada urgente do país, deixou de utilizar as cinco unidades que possui devido à incompatibilidade logística da configuração com a demanda de cargas. Enquanto a Julieta tem maior capacidade que o Romeu, a maior demanda é justamente para os destinos finais das rotas mistas.

Das cinco unidades, duas foram retiradas de circulação, depois de acidentes, que, segundo a empresa, não podem ser atribuídos à configuração do veículo. Um foi abalroado por um caminhão boiadeiro e caiu numa ribanceira; no segundo caso, a composição tombou por imprudência do motorista.

As composições Romeu-e-Julietta utilizam como unidades tratoras caminhões Fiat antigos, trucados e equipados com motor Scania. O encarroçamento foi feito pela Antonini. O *Romeu* tem tração 6x2, pbt de 22 t e capacidade para 11 t de carga. A Julieta tem pbt de 20 t e leva 15 t de carga. O comprimento total da composição é de 19,20 m. Os dois baús, juntos, somam 90 m³ (45 em cada). A primeira unidade comporta cargas de até 244 kg/m³ e a segunda, de 333 kg/m³. Devido à limitação do volume, a configuração é pouco adequada para cargas leves.

A empresa concluiu que, na prática, ocorre uma inversão das capacidades de carga das duas unidades. Numa rota como São Paulo-Imperatriz-Belém, por exemplo, a carga maior é para Belém e não para Imperatriz⁴⁵. Isso tornou o caminhão com reboque incompatível com a logística da empresa. Hoje, duas unidades estão em Salvador e a terceira em Recife. Em ambos os casos, passaram a ser usadas predominantemente em percursos curtos.

Problema logístico à parte, não houve outros obstáculos à operação da unidade, quer quanto à segurança, quer quanto a manobras em terminais, dirigibilidade ou capacidade para vencer rampas e manter velocidade. A única restrição, segundo a empresa, é que o uso de duas unidades menores no lugar de uma única dobra a necessidade de plataformas. No caso do Brasil, onde existe preferência por estacionamento a 90 graus, esse aumento seria maior ainda. Há necessidade também de dobrar as equipes de carga e descarga.

10.2.8. Utilização de carreteiros

As 116 transportadoras que informaram suas frotas utilizam os veículos de transportadores autônomos nas transferências entre terminais constantes da *tabela 10-7*. Os transportadores autônomos respondem por 60,3% da frota total. A distribuição das

⁴⁴ Informações fornecidas pelo diretor geral, José Augusto Roberto.

⁴⁵ A compatibilização é possível, utilizando-se, por exemplo, cavalo de cabina avançada com baú de 9 m e uma "Julieta" de apenas 7 m (veja projeto da Rodoviária para cavalo mais reboque no capítulo sobre implementos). Trabalhando-se com densidades iguais para as duas unidades, haverá ociosidade na tonelagem do reboque. Teoricamente, o aproveitamento total da tonelagem da carreta pode reduzir a segurança dessa configuração.

configurações é semelhante à da frota própria. Predominam cavalos de dois eixos com carretas de três eixos (41,7%) e caminhões trucados (34,8%). A proporção das carretas leves (dois eixos) é ainda menor do que na frota própria (9,1%)⁴⁶. Numerando-se de 1 a 4 as principais frotas a partir dos caminhões trucados, conclui-se que apenas os pares de médias 1 e 3 e 2 e 4 não são estatisticamente diferentes⁴⁷.

TABELA 10-7
FROTA DE AUTÔNOMOS USADA PELAS EMPRESAS

	GRUPO 1	PERC..	GRUPO 2	PERC.	GR. 3	PERC.	TOT.	PER.
Cam. truc.	2331	56,6	785	19,3	161	13,2	3277	34,8
CV2ECT2E	617	15,0	230	5,6	7	0,6	854	9,1
CV2ECT3E	1070	26,0	1851	45,4	1007	82,4	3928	41,7
CV3ECT3E	97	2,4	1211	29,7	47	3,8	1355	14,4
TOTAIS	4115	100,0	4077	100,0	1222	100,0	9414	100,0
Respostas	50		38		28		116	
N. Respond.	0		1		8		9	
Total empr.	50		39		36		125	
Veic./empr.	62,8		64,4		43,6		81,2	
Frota total	6554		6334		2723		15611	
Perc. carret.		62,8		64,4		44,9		60,3

10.2.9. Configurações para cargas volumosas

Um pergunta solicitava às empresas informarem as configurações que utilizam atualmente para transportar cargas leves. O resultado foi o da *tabela 10-8*. Cerca de 66% das empresas de cargas fracionadas empregam, entre outros veículos, caminhões trucados para transportar cargas volumosas; 62% usam, entre outros, cavalos de dois eixos com carretas de dois eixos.

Os teste revelam que são significativas as diferenças entre as proporções dos caminhões trucados e dos cavalos de dois eixos mais carretas de dois eixos⁴⁸. O mesmo não acontece, no entanto, quanto ao cavalo de dois eixos com carreta de três eixos⁴⁹. Nas

46 Devido à maior versatilidade, os autônomos preferem carretas de três eixos. Devido à escassez do veículo adequado, muitas vezes, cargas fracionadas leves são transportadas em carretas de três eixos.

47 São os seguintes os intervalos de confiança com 95% de probabilidade ou 5% de significância: 1) 0,261-0,434; 2) 0,039-0,143; 3) 0,327-0,507; 4) 0,080-0,208.

48 $Z = 5,31$

49 A diferença entre as proporções é muito pequena, dispensando até o teste de hipótese. Como a amostra é pequena, as diferenças só tem se mostrado significativas quando ultrapassam 20%.

demais configurações, tanto as variações das proporções quanto o tamanho das amostras são pequenos, podendo-se concluir, independente de testes, que as diferenças não são significativas⁵⁰.

TABELA 10-8
CONFIGURAÇÕES USADAS PARA CARGA VOLUMOSA

CONFIGURAÇÃO	CLASSE 1	PERCENT.*	CLASSES 2+ 3	PERCENT.
Caminhões trucados	33	66,0	22	29,3
Cav. 2E + Car. 2E	31	62,0	12	16,0
Cav. 2E + Car. 3E	10	20,0	12	16,0
Cav. 3E + Car. 3E	1	2,0	0	0,0
Romeu-e-Julietta	2	4,0	0	0,0
Total de respostas	42	84,0	28	37,3
Não Responderam	8	16,0	47	62,7
Totais	50	100%	75	100%
* Soma maior do que 100%, porque as respostas são múltiplas.				

10.2.10. Capacidade das carretas

Nota-se em algumas empresas visitadas a tendência para a utilização de caminhões trucados com cabina avançada e furgões mais longos. Ao substituir a carroçaria de cerca de 8 m por outra de 9 m, a transportadora aumentou a capacidade do veículo de 12 para 14 pallets.

Já para as carretas, o volume mínimo encontrado foi de 90 m³ (Dom Vital e Expresso Mira). O maior valor encontrado, com comprimento normal (14 m), foi de 102 m³, para carretas rebaixadas.

Para cargas bastante leves (latas de cerveja vazias), a Partezani, que adota carretas de dois eixos de até 15,70 m de comprimento, com “gavetões” inferiores, tracionadas por cavalo MBB com apenas 3,10 m entre-eixos, cuja capacidade atinge até 110 m³. Com grande distância entre eixos, esse veículo apresenta arrastes muito grandes⁵¹.

10.2.11. Possibilidade de usar o DSR

Na primeira categoria (carga comum fracionada), apenas 16 das 50 empresas (32%) não admitem a hipótese de usar o DSR. Na segunda (carga comum não fracionada), essa

⁵⁰ Veja nota anterior.

⁵¹ Veja capítulo 5.

proporção aumenta para 22 em 39 (56,4%). Finalmente, na terceira (carga especializada), vinte entre 36 empresas (55,5%) não pensam em usar o DSR (*figura 10-4*).

FIGURA 10-4:
Possibilidades de usar o DSR

Como as proporções dos grupos 2 e 3 são quase iguais, suas diferença não chegam a ser estatisticamente significativas, podendo ser fundidas. O mesmo não acontece, no entanto, quando se comparam as proporções de não usuários em potencial dos grupos 1 e 2 mais ⁵². Pode-se afirmar, portanto, que o uso em potencial do equipamento é maior entre os transportadores de carga fracionada do que entre os transportadores de carga não fracionada. Essa conclusão é coerente com a experiência americana⁵³.

10.2.12. Veículos que o DSR substituiria

Dos 67 usuários em potencial, 57 indicaram as configurações que pretendiam substituir pelo DSR⁵⁴, conforme *tabela 10-9*.

Embora a amostra seja limitada, há indício de que o DSR poderia substituir principalmente os caminhões trucados, com destaque para os de comprimento tradicional

⁵² $Z = 2,63$

⁵³ Veja capítulo 9, sobre usos típicos do DSR.

⁵⁴ Respostas múltiplas.

(até 8 m). Mas, mesmo os mais longos, para cabinas avançadas (9 a 10 m) aparecem no levantamento. Esse destaque para os trucados deve-se possivelmente não só à ainda grande participação desse veículo na frota nacional, mas também à percepção das vantagens logísticas do DSR.

TABELA 10-9
VEÍCULOS QUE SERIAM SUBSTITUÍDOS PELO DSR

CONFIGURAÇÃO	COMPRIMENTO	FROTISTAS	SUB-TOTAL
Caminhão trucado	7,00 m	7	
Caminhão trucado	7,50 m	2	
Caminhão trucado	8,00 m	11	
Caminhão trucado	8,50 m	1	
Caminhão trucado	9,00 m	5	
Caminhão trucado	10,00 m	1	28
Cav. 2E + Car. 2E	Até 12 m	1	
Cav. 2E + Car. 2E	12 a 13 m	2	
Cav. 2E + Car. 2E	13 a 14 m	5	
Cav. 2E + Car. 2E	Mais de 14 m	2	
Cav. 2E + Car. 2E	Não especificado	4	14
Cav. 2E + Car. 3E	Até 13 m	6	
Cav. 2E + Car. 3E	Mais de 14 m	1	
Cav. 2E + Car. 3E	Não especificado	10	17
Cav. 3E + Car. 3E	Não especificado	3	3
Romeu-e-Julieta	Não especificado	1	1

O segundo candidato à substituição é o semi-reboque tradicional, com cavalos de dois eixos e carretas de três eixos. O conjunto de cavalo de dois eixos com carreta de dois eixos aparece na terceira posição, não só porque tem pequena participação na frota, como também porque já é um veículo adequado para o transporte de cargas volumosas, especialmente quando utilizado com carretas longas. Configurações mais raras, como cavalo de três eixos mais carreta também de três eixos ou Romeu-e-Julieta foram muito pouco citadas nas respostas. Como a amostra é pequena, as diferenças não são estatisticamente significativas⁵⁵, exceto quando forem entre os caminhões trucados (28) e os cavalos de dois eixos com carretas também de dois (14). No Expresso Araçatuba e no Expresso Mira, o candidato a substituição é o truque convencional de 8 m. Na ITD Transportes, o DSR tomaria o lugar de carretas de dois eixos e 14 m, enquanto na Transportadora Americana, tanto poderia substituir caminhões trucados de 8 m quanto semi-reboques de três eixos e 14 m de comprimento.

⁵⁵ Para a frequência 28, o intervalo de confiança da média é 22,3-35,4. Para a frequência 17, o mesmo intervalo vale 10,2-23,8. Para o valor 14, mesmo intervalo será 7,6-20,4. Os demais valores não permitem o cálculo por serem menores do que 5.

10.2.13. Peso *versus* volume

Outro objetivo do questionário era determinar se os usuários em potencial empregariam o DSR apenas para cargas volumosas, isto é, aquelas que lotam o veículo antes de complarem o peso bruto, ou também para mercadorias de maior densidade. Por uma falha de formulação, as alternativas de resposta à pergunta não distinguem os frotistas que usariam o veículo apenas para cargas de alta densidade daqueles que o empregariam tanto para mercadorias de baixo/médio e alto peso específico.

Essa falha foi parcialmente sanada com o envio de uma consulta posterior. Nove frotistas não preencheram o formulário adicional. Nesses casos de ausência da informação explícita, fez-se uma inferência com base nos comprimentos das carretas, assinalados em outra pergunta do questionário. Admitiu-se que semi-reboques de menos de 8 m atendem apenas às cargas de alta densidade, enquanto carretas com 8 m ou mais possibilitam também o transporte de cargas de média ou mesmo baixa densidade.

Feita a tabulação, os resultados foram os da figura 10-5. Nota-se uma distribuição equilibrada entre as três opções, isto é, usar o rodotrem leve só para transportar volume, só para transportar peso ou para transportar ambos o tipos de carga. Como os valores estão muito próximos, as diferenças não são estatisticamente significativas.

FIGURA 10-5:
Como os frotistas utilizariam o DSR

Portanto, uma das hipóteses iniciais colocadas no questionário com base na experiência norte-americana, a de que a maior utilização imaginada para o DSR era para carga volumosa, não se confirmou integralmente. Independente da maior cubagem, os frotistas brasileiros parecem valorizar bastante as vantagens logísticas inerentes a esta nova configuração. Boa parte das empresas não descarta a possibilidade de empregar uma composição de maior comprimento, portanto, mais versátil, que tanto poderia transportar cargas mais leves quanto mais pesadas. Entre as empresas visitadas, o Araçatuba, a ITD e Mira usariam o DSR para cargas mais pesadas, enquanto a Partezani e a Americana transportariam cargas volumosas.

10.2.14. Comprimentos preferidos

Dos 67 usuários em potencial do DSR, 64 indicaram o comprimento que seria mais adequado para as suas necessidades. O formulário complementar, enviado apenas aos que declararam que usariam essa configuração até para cargas de maior densidade, abria a possibilidade da indicação de dois comprimentos, um para peso, outro para volume. Para os dez frotistas que não responderam o questionário, o enquadramento, a exemplo do item anterior, foi feito admitindo-se que carretas de até 8 m só se prestam ao transporte de carga pesada e que mercadoria de densidades médias ou baixas exige comprimento maior.

Os valores assinalados pelos frotistas que escolheram um comprimento único para atender tanto às necessidades de peso quanto de volume foram computados a favor do uso para transporte de cargas menos densas⁵⁶.

Os resultados estão na *figura 10-6*. Notam-se algumas incoerências. Alguns frotistas querem usar o DSR para cargas volumosas, mas escolheram comprimentos pequenos. Outros querem aplicar o veículo na movimentação de cargas pesadas, mas escolheram comprimentos grandes. Além do mais, a amostra é pequena. Mesmo com reservas, pode-se concluir que a faixa de 6,5 a 8 m atenderia o transporte de cargas comuns ou mesmo especializadas⁵⁷ mais densas.

FIGURA 10-6:
Comprimentos preferidos pelos frotistas

No caso das cargas volumosas, os comprimentos mais votados foram, 10 m (21 transportadoras) e 9 m (12 transportadoras). O questionário não incluía comprimentos maiores do que 10 m⁵⁸. Como as preferências não chegaram a atingir o ponto de inflexão, pode-se imaginar que dimensões maiores ainda seriam bem votadas.

⁵⁶ Neste caso, a carga mais volumosa é que define o comprimento; 3 empresas não responderam..

⁵⁷ Entre o usuários em potencial estão, por exemplo, transportadoras de cargas siderúrgicas (bobinas), transportadoras de gás engarrafado (para cidades menores, onde o consumo seja menor do que 1 000 garrafas por dia), transportadoras de combustíveis (tanques) etc. Algumas dessas aplicações exigiam peso bruto total superior a 45 t.

⁵⁸ Para ficar dentro do conceito do *twin trailer truck* americano.

A preferência pela utilização de unidades mais compridas (para transportar só volume ou uma combinação volume/eventualmente peso) é estatisticamente significativa⁵⁹. O pequeno tamanho da amostra torna não significativas todas as diferenças verticais constatadas na coluna “Peso” e a maioria das existentes na coluna “Volume”. No caso do volume, não há diferença estatística entre as 21 opções pelos 10 m e as 12 pelos 9 m; ou ainda entre esta última e as sete opções pelos 8 m. É significativa, no entanto, a diferença entre as 7 opções pelos 8 m e as 12 pelos 10 m⁶⁰.

Entre as sete empresas visitadas pessoalmente, o uso do DSR de 10 m é bastante cogitado dentro da Transportadora Americana, para substituir tanto caminhões trucados com baús de 8 m quanto semi-reboques de três eixos e 14 m de comprimento no transporte de cargas volumosas.

Já o Expresso Araçatuba poderia adotar o DSR de até 8 m⁶¹ no futuro para cargas de maior densidade, para substituir principalmente caminhões trucados, buscando vantagens logísticas e maior velocidade, especialmente na carga rápida⁶². No momento, a frequência das rotas ainda não é diária⁶³, não justificando a introdução do equipamento.

Se não houvesse obstáculos legais e problemas de segurança, o Expresso Mira pensaria em usar o DSR de 8,5 m não especificamente para resolver problema de cubagem, mas para substituir os caminhões trucados com carroçarias de 8 m que hoje fazem algumas das rotas.

A ITD optaria por um DSR de seis eixos, para elevar a capacidade de carga em relação às carretas convencionais.

Já a Partezani, dependendo da legislação, poderia usar a nova configuração com comprimentos de até 10 m, tanto para cargas volumosas, como até para as de maior densidade. Em 1991, a empresa estudou a possibilidade de adotar o modelo lançado pela Fruehauf, mas concluiu que não havia compatibilidade entre o comprimento das carretas⁶⁴ e as dimensões dos pallets para latas vazias⁶⁵.

A Dom Vital não pensa, em princípio em usar o DSR. Acredita que sua aplicação é muito similar à do Romen-e-Julietta, cuja operação criou dificuldades logísticas⁶⁶. No

59 Os intervalos de confiança das médias são: 45,7-60,3 para 53; e 11,7-26,3 para 19.

60 Os intervalos de confiança das médias são: 15,3-16,7 para 21; 6,0-18,0 para 12; e 2,2-18,8 para 6.

61 Optou por este comprimento para não exceder os 19,80 m de comprimento total.

62 As carretas são mais rápidas do que os truques. O tempo de carga e descarga é pequeno porque a empresa transporta cargas “engaioladas”. A conferência é feita depois que o caminhão vai embora. Cada “gaiola” tem 1,20x1,40x 2,55 m, pesa cerca de 200 kg, leva até 1 t de carga e é colocada nos caminhões (com piso em chapa de aço) através de carrinhos hidráulicos. Essas unidades não são desmontadas. Mesmo quando vazias voltam montadas. Seu peso não interfere muito porque a carga é leve. Servem também de unidades de armazenagem nos terminais. Cada truque de 8 m leva dez gaiolas. Cada truque de 9 m leva dez “gaiolas” e ainda sobra espaço para carga solta na traseira.

63 Na rota São Paulo-Campo Grande-Cuiabá, por exemplo, a empresa faz uma viagem por semana.

64 7,8 m.

65 Nos 7,80 m de cada carreta, só caberiam cinco pallets de 1,42 m, restando espaço ocioso.

66 Já expostas em tópico anterior deste capítulo.

futuro, a empresa pensa em introduzir carretas mais longas da Randon, com 15,15 m de comprimento e capacidade para 105 m³, tracionadas por cavalo Scania de 4,20 m de distância entre eixos.

Também o Rápido Cometa descarta o rodotrem leve, porque não tem rotas mistas e tem carregamento diário completo (carga de uma carreta) para cada destino, porque nas linhas longas, o tempo gasto em carga e descarga é proporcionalmente menor do que nas curtas e porque acredita que o maior comprimento do veículo dificultaria as ultrapassagens.

10.2.15. Motivos para usar o DSR

Dos 67 frotistas que admitiram a possibilidade de utilizar o DSR, 63 apontaram os seguintes motivos (figura 10-7):

1. O DSR aumentaria o volume (cubagem) da carga transportada numa única viagem: 46 respostas;
2. O DSR reduziria o número de veículos e o número de motoristas: 39 respostas;
3. O DSR reduziria a ociosidade do cavalo mecânico: 28 respostas;
4. Com duas carretas, a empresa poderia separar melhor as cargas por destino: 17 respostas;
5. O DSR reduziria os tempos de carga e descarga: 16 respostas;
6. O DSR permitiria a troca do semi-reboque traseiro nos terminais intermediários: 16 respostas;
7. Permitiria a entrada de um semi-reboque na cidade, deixando-se o outro na estradas: 16 respostas.

FIGURA 10-7:
Motivos para usar o DSR

10.2.16. Motivos para não usar o DSR

Entre as 54 transportadoras que não admitem usar o DSR, os quatro principais motivos alegados são os seguintes (figura 10-8):

1. As rotas da empresa não comportam esse tipo de veículo: 39 respostas;
2. A densidade das cargas não justifica a adoção do DSR: 24 respostas;
3. É um veículo difícil de carregar e de manobrar nos terminais: 19 respostas;
4. As dimensões das cargas da empresa são incompatíveis com o DSR: 17 respostas.

Outros motivos relacionados na pesquisa, como a falta de experiência dos transportadores brasileiros com essa configuração (8 respostas), a aparente insegurança do veículo (6 respostas), o custo operacional aparentemente alto (2 respostas), o maior peso morto (4 respostas), a necessidade de investimento para substituir carreteiro (6 respostas) ou

FIGURA 10-8:
Motivos para não usar o DSR

a exigência de autorização especial de trânsito (6 respostas) e a dificuldade dos motoristas para operar o veículo (2 respostas) foram considerados pouco relevantes.

10.2.17. Influência da distância

Entre as empresas entrevistadas pessoalmente, a Dom Vital e a Cometa alegaram que o DSR seria pouco adequado para linhas longas, onde os tempos de carga e descarga pesam pouco. Por isso, o adendo do questionário procurou levantar a extensão das linhas. Das cem empresas que responderam a essa questão⁶⁷, 45 operam linhas curtas⁶⁸, outras 46 fazem linhas médias e apenas 30 trafegam em linhas longas.

Entre as empresas de linhas curtas, 25 (ou 55,5%) são usuárias em potencial do DSR. Entre as empresas de linhas médias, as usuárias em potencial chegam a 28 (ou 60,9%) e entre as de linhas longas, a 19 (ou 76%). Devido à pequena variação dos percentuais, não é necessário qualquer tratamento estatístico para se concluir que, pelo menos nesta amostra, não se constatou

⁶⁷ Respostas múltiplas.

⁶⁸ O questionário considerou curta a linha com extensão até 500 km, média a linha de 500 a 1000 km e longa a linha acima de 1 000 km de percurso.

correlação entre a menor extensão das linhas e o eventual uso maior do DSR. Pelo contrário, nota-se um crescimento do uso potencial com o aumento da extensão da rota.

10.2.18. Tipo de tração

Dos 67 transportadores que admitem a possibilidade de usar o DSR, 48 prefeririam a tração 4x2; 13 optariam pela tração 6x2; e 6 escolheriam tração 6x4 (*figura 10-9*). A preferência pela tração 4x2 é estatisticamente significativa. Não há diferença estatística entre os valores obtidos para as outras duas.

FIGURA 10-9:
Tração preferida para o DSR

Entre os visitados pessoalmente, há consenso de que a tração 4x2 seria suficiente para operar o DSR. Nota-se certa resistência à tração 6x2. Com um único eixo trator, de apenas 8,5 t, essa configuração produz força de aderência reduzida, o que aumenta o risco de deslizamento (patinação) das rodas, especialmente em cavalos de elevado torque⁶⁹. A tração 6x4, que evita esse problema, exige investimento adicional elevado.

10.2.19. Tipo de cabina

Mesmo que não houvesse restrição legal ao comprimento total dos conjuntos de DSRs, mas apenas ao comprimento das carretas⁷⁰, 40 dos 67 frotistas que admitiram a possibilidade de utilizar o DSR optariam pela cabina avançada. Apenas 27 escolheriam a cabina convencional (*figura 10-10*). A diferença não é estatisticamente significativa. Essa aparente preferência está ligada ao fato de que cabinas avançadas permitem carretas compridas.

⁶⁹ O fenômeno ocorre quando a força tratora ultrapassa a força de aderência.

⁷⁰ Tal como acontece nos EUA.

FIGURA 10-10:
Cabina preferida para o DSR

Atualmente, 46 das 125 empresas que responderam ao questionário preferem ou usam a cabina avançada. Mas 67 usam a convencional e doze não responderam. Entre as que responderam, há 62 usuários potenciais do DSR. Desses, 26 usam atualmente a cabina avançada e manteriam essa opção no rodotrem leve; outros 22 usam cabina convencional e também não trocariam; dez usuários da convencional mudariam para a avançada, enquanto quatro usuários da avançada trocariam para a convencional.

10.2.20. Tipo de *dolly*

Nada menos do que .44 dos 67 usuários em potencial do DSR optariam pelo *dolly* removível com lanças paralelas⁷¹, chamado na pesquisa de *dolly C*. Outros catorze escolheram o *Trem B*⁷² e nove preferiram o *dolly A*, enquanto um não respondeu (*figura 10-11*). É desnecessário qualquer tratamento estatístico para se concluir que a opção pelo *dolly C* é significativa.

⁷¹ Esta opção, ainda não disponível no mercado nacional, combina a intercambiabilidade com maior segurança.

⁷² Embora bastante seguro, esse acoplamento elimina a intercambiabilidade, é mais caro e mais pesado do que os demais e pode dificultar o estacionamento da primeira carreta de ré, a menos que seja deslizante.

FIGURA 10-11:
Dollies preferidos para o DSR

Essa preferência, que ocorreu a despeito de a indústria brasileira de implementos só fornecer os modelos *A* e *B*, está ligada ao fato de que esta opção combina as possibilidades de intercâmbio entre as carretas com o aumento da segurança.

10.2.21. Restrições legais

Caso a empresa viesse a utilizar o duplo semi-reboque, que restrições legais estaria disposta a aceitar? Das 67 empresas que se declararam usuárias em potencial do DSR, 62 responderam à questão acima. Tabuladas essas respostas, o resultado é o seguinte (*figura 10-12*):

1. Limitação da velocidade a 80 km/h: 44 respostas;
2. Autorização Especial de Trânsito: 33 respostas;
3. Inspeção técnica semestral por organismo cadastrado pelo Detran: 29 respostas;
4. Uso obrigatório de freios ABS/ASR: 24 respostas;
5. Carteira especial para os motoristas: 24 respostas;
6. Uso obrigatório de pneus de primeira vida 21 respostas;
7. Circulação apenas durante o dia: 20 respostas;
8. Circulação restrita a rodovias de pista dupla: 14 respostas;
9. Cargas por eixo decrescentes: 10 respostas.

FIGURA 10-12:
Restrições legais que os frotistas estariam dispostos a acatar

Constata-se que os transportadores assimilariam bem as exigências de limitação da velocidade a 80 km/h, AET e inspeção técnica periódica⁷³. As demais, especialmente a proibição de circulação noturna, o uso de pneus novos e redução de cargas nos eixos traseiros⁷⁴, já encontrariam resistência.

O questionário incluiu uma pergunta sobre o uso do dispositivo anti-L⁷⁵. Dos 64 usuários em potencial do DSR, 39 mostraram dispostos a aceitar a exigência obrigatória de tal dispositivo; seis responderam que não e dezenove não responderam.

Embora alguns temam que a inspeção técnica transforme-se em fonte de propinas, a maioria aceita bem a medida. Da mesma forma, embora a precariedade das AETs desperte temores, a maioria concorda com essa exigência.

As limitações da legislação atual, agravadas pelos critérios conservadores de alguns DERs, no entanto, assustam os operadores. Para as transportadoras de cargas fracionadas, é inviável utilizar um veículo com restrições de horário de tráfego, porque os caminhões precisam rodar à noite para atender aos prazos de entrega⁷⁶. Aliás, uma das vantagens da transferência à noite é justamente a de encontrar as estradas mais livres. Uma empresa de São Paulo, cujos caminhões são liberados à meia noite, estuda a possibilidade de obter AET a partir desse horário, posterior ao pico de tráfego.

Da mesma forma, o confinamento do veículo às rodovias de pista dupla inviabilizaria sua utilização. A limitação da velocidade a 80 km/h não criaria tantos problemas porque já é praticada voluntariamente por algumas empresas. Os 60 km/h previstos na Resolução 631 são inferiores à velocidade médias dos semi-reboques convencionais. Da mesma forma, os

⁷³ Prevista no novo Código Brasileiro de Trânsito, que espera aprovação do Senado.

⁷⁴ Prática usual nos Estados Unidos, para aumentar a segurança, porém desconhecida no Brasil.

⁷⁵ O equipamento só foi lembrado na fase de aplicação pessoal do questionário.

⁷⁶ Nos Estados Unidos, a maior parte do tráfego dos *trucks* é feita à noite.

70 km/h previstos na minuta de alteração da Resolução 631 são insuficientes porque reduziram bastante a velocidade média.

O uso obrigatório de pneus novos em todos os eixos também teve pouca aceitação. A Dom Vital, por exemplo, considerou a medida “desnecessária do ponto de vista de segurança e inviável do ponto de vista econômico”. Houve propostas alternativas, como limitar os pneus novos aos eixos do cavalo ou de só usar pneus reconicionados de boa qualidade.

Mesmo um pouco mais votado, o uso de freios ABS/ASR também não chegou a entusiasmar. Embora os frotistas não discutam a eficácia do dispositivo, alguns questionam o investimento necessário para incorporá-lo à frota.

O esquema de cargas decrescentes a partir do eixo trator, usual nos EUA, foi a restrição menos aceita pelos transportadores. Aparentemente, essa rejeição tem como causa o desconhecimento dessa prática e do comportamento dinâmico do DSR.

10.2.22. Cuidados voluntários

As 66 empresas que admitem a possibilidade de usar o DSR e que responderam a esta pergunta (só uma não respondeu) estariam dispostas a tomar vários cuidados voluntários (*figura 10-13*):

1. Treinamento especial para os motoristas do DSR: 56 respostas;
2. Limitação da velocidade máxima a 80 km/h: 48 respostas;
3. Operação desses veículos pelos melhores motoristas: 47 respostas;
4. Adotar freios ABS/ASR: 30 respostas;
5. Usar cavalo de no mínimo 360 hp: 28 respostas;
6. Utilização de pneus novos: 27 respostas;
7. O veículo só rodaria em rotas de pista dupla: 24 respostas;
8. Só permitir a circulação do veículo durante o dia: 11 respostas.

Quando se comparam esses resultados com os do item anterior, constatam-se algumas confirmações. É o caso das dificuldades em rodar apenas em pistas duplas de sentido único ou apenas durante o dia. Mas observam-se também algumas inconsistências. A aceitação dos freios ABS/ASR e do uso de pneus novos, por exemplo, seria maior se não houvesse exigência legal.

FIGURA 10-13:
Cuidados voluntários que os frotistas estariam dispostos a tomar com o DSR

A adoção voluntária do dispositivo anti-L obteve a concordância de 36 empresas; 8 responderam que não usariam o equipamento; e vinte não responderam.

Algumas empresas, como a Dom Vital, já adotam voluntariamente parte dos cuidados sugeridos nos veículos convencionais, como o uso do dispositivo anti-L, a limitação da velocidade a 80 km/h⁷⁷ e potência mínima de 360 hp para veículos de 32 t de pbtc.

As empresas endossam também a idéia de entregar voluntariamente o volante dos DSRs aos melhores motoristas depois de submetidos a treinamento especial.

10.3. Primeiros usuários do DSR

As experiências das duas únicas usuárias do DSR no Brasil, a Real Expresso e o Expresso Sul Fluminense mereceram registros especiais.

10.3.1. Expresso Sul Fluminense⁷⁸

Grande operadora de veículos longos combinados no transporte siderúrgico, a empresa, com sede em Barra Mansa-RJ, adquiriu o DSR leve exibido na Brasil Transpo de 1989 pela Freuhauf e operou esta unidade por algum tempo na rota São Paulo-Rio-Feira de Santana-Recife combinando o transporte de cargas postais do correio com mercadorias da Hermes.

A operação foi desativada por motivos comerciais, independentes da configuração do veículo. Um relatório sobre a operação⁷⁹, cuidadosamente montado pela empresa, documenta alguns trechos de viagem, conforme *tabela 10-10*. Adotando o consumo

⁷⁷ A empresa permite excessos momentâneos no caso de ultrapassagens.

⁷⁸ Entrevistado o diretor técnico, engenheiro mecânico Alberto Spritzer.

⁷⁹ Relatório Operacional Expressinho-Correios, 1991.

conservador de 2,50 km/litro, a empresa montou um quadro comparativo entre o rodotrem e as opções usuais (*tabela 10-11*).

O relatório registra o tempo efetivo de pleno carregamento (1h 45 min), o tempo de formação do rodotrem ou acoplamento dos veículos (40 minutos) e o tempo total de processamento no terminal⁸⁰ (3 h). Um laudo de vistoria anexo ao relatório, assinado pela engenheira do DNER Maria Helena de Moraes, dispensa placa de sinalização traseira (o rodotrem não ultrapassa os 19,80 m) e treinamento específico para os motoristas e autoriza a circulação noturna em pistas simples e duplas no trecho São Paulo-Recife a 60 km/h com 45 t de pbct. A AET registra capacidade de carga de 15 t em cada unidade. Ou seja, a tara não iria além de 15 t⁸¹. O projeto do fabricante, no entanto, registra tara de 17 390 kg⁸².

TABELA 10-10
DESEMPENHO DO DSR DA SUL FLUMINENSE

TRECHO	RJ-FS	FS-RE	RE-FS	FS-RJ	TOTAL
Tempo de viagem (h:min)	31:40	17:20	13:50	27:30	80:20
Tempo rodando (h:min)	26:20	16:00	12:00	25:50	80:10
Dist. percorrida (km)	1652	783	776	1497	4705
Vel. operacional (km/h)	63	49	64,6	57,5	59
Vel. comercial (km/h)	52	48	56,1	54,4	52
Rend. combustível (km/litro)	2,27	2,64	3,75	2,75	2,73
RJ = Rio de Janeiro FS = Feira de Santana RE = Recife					

TABELA 10-11
RODOTREM VERSUS OPÇÕES USUAIS

OPÇÃO	VOLUME	VELOCIDADE	CONSUMO	
Unidades	m ³	km/h	km/litro	lt/m ³ .km
Rodotrem	106 ⁸³	60 ⁸⁴	2,50	0,00377
Cavalo + Semi-Reb.	98	63	2,60	0,00436
Caminhão trucado	60	56	2,60	0,00642
Caminhão trucado	47	58	2,65	0,00806
FONTE: SUL FLUMINENSE				

80 Com as carretas ocupando dois *piers*.

81 7,4 t do cavalo, mais 1,4 t do *dolly* e 3,1 t de cada semi-reboque.

82 6 680 kg do cavalo, mais 1 700 kg do *dolly*, 6680 kg das carretas e 2 200 kg das suspensões.

83 Volume ligeiramente maior do que o obtido usando as dimensões internas fornecidas pela Tectran. O relatório usou as dimensões 2,45x2,80x7,80 m. A largura está correta. O comprimento útil é menor que 7,80 m. E altura útil que consta no projeto é de 2,705 m.

84 No quadro anterior, chegou-se a 59 km/h.

10.2. Real Cargas

A empresa utiliza, desde meados de 1994, dois duplo semi-reboques de 19,80 m⁸⁵. Os dois veículos fazem parte de um projeto-piloto, que poderá levar à substituição de até duzentos caminhões médios.

Inicialmente, os dois DSRs substituíram quatro caminhões VW 14 210 trucados na rota mista São Paulo-Uberaba-Uberlândia⁸⁶. Durante a maior parte do percurso, de cerca de 500 km, o DSR trafegava em rodovia de pista dupla (via Anhangüera). Curiosamente, o veículo só tinha autorização para tráfego noturno na BR-050, trecho de pista simples, entre a Ponte do Delta e Uberlândia, que é federal⁸⁷. Em 1994, a circulação noturna na Anhangüera foi assegurada por uma portaria do DER-SP que suspendeu as restrições ao trânsito dos treminhões e rodotrens durante a safra da cana⁸⁸. Em março de 1995, para poder trafegar à noite em São Paulo, a empresa foi obrigada a deslocar os dois DSRs para outra rota: os veículos passaram a fazer a ligação Campinas-Ribeirão Preto-Brasília⁸⁹, utilizando Uberlândia como ponto de apoio para troca de motoristas.

Com potência de 354 hp/NBR a 2 100 rpm e torque de 1 550 Nm a 1 600 rpm, a unidade tratora permite à composição manter razoável velocidade média. Mesmo não excedendo a velocidade máxima de 70 km/h, o DSR fazia a viagem São Paulo-Uberaba-Uberlândia em nove horas, o mesmo tempo que leva um caminhão trucado, sem essa restrição e sem entrar em Uberaba. Recentemente, esses dois veículos combinados passaram a fazer a rota Belo Horizonte-Uberlândia-Goiânia.

No percurso inicial, as economias de custo abrangiam a mão-de-obra (um motorista em vez de dois), pneus (cinco eixos de um DSR com 18 pneus em vez de seis dos dois truques com vinte pneus) e pedágios (para cinco eixos no lugar de seis em sete postos).

Entre as desvantagens, a empresa anota a exigência de manobras mais complexas nos terminais. Para estacionar na doca, a segunda carreta é empurrada, através do *dolly*, pelo pára-choque do cavalo.

A empresa não registra problemas de segurança e ainda não reuniu dados que permitam comparar os custos do DSR com os dos truques a que substituíram.

85 Ver descrição e características técnicas no Anexo A.

86 As duas cidades mineiras são pólos concentradores de carga da Real.

87 O DNER autoriza tráfego noturno para composições com até 19,80 m de comprimento, independente do pbtc e do número de eixos. Já o DER-SP condiciona a mesma autorização a densidades máximas de tráfego durante a noite. Veja mais informações no capítulo sobre legislação.

88 Veja anexo sobre legislação.

89 Com isso, deixou de trafegar no trecho São Paulo-Campinas, onde as altas densidades de tráfego das 18 às 24 horas impedem a obtenção de AET para operação diuturna.

10.4. Resumo e análise

1. Existe mercado para novas configurações de veículos de maior cubagem para cargas com densidade inferior a 250 kg/m^3 . Há indícios de que a redução na densidade das cargas, especialmente das fracionadas, já está chegando ao Brasil. Pesquisa com 29 empresas de transporte fracionado revela que vinte delas movimentam mercadorias com densidade média abaixo de 240 kg/m^3 . A média geral encontrada foi de apenas 202 kg/m^3 .
2. Mais de metade da carga de 20 entre 42 das empresas de carga fracionada tem densidade igual ou inferior a 200 kg/m^3 . Esse percentual reduz-se a 26,6% para as cargas comuns não fracionadas (8 em 30) e para apenas 3,44% (1 em 29) para as cargas especializadas. A diferença entre esses percentuais é estatisticamente significativa.
3. Constata-se também uma grande utilização de rotas mistas, de baixa demanda, atendidas atualmente por caminhões trucados. Sessenta e quatro entre 125 empresas pesquisadas (51,2%) já operam nesse tipo de rota. Segmentando-se a amostra, constata-se que essas rotas são operadas por 34 empresas (68%) de carga fracionada (grupo 1), 18 empresas (46,1%) de carga comum (grupo 2) e apenas doze empresas (33,3%) de carga especializada (grupo 3). A proporção de transportadoras de cargas fracionadas que operam rotas mistas é significativamente maior do que nos demais grupos.
4. Embora a extensão de rodovias de pistas duplas existente no país seja muito pequena, constata-se que sessenta das 125 empresas pesquisadas (48%) têm pelo menos algumas rotas nas quais a maior parte do percurso é feito em rodovias desse tipo. Esse índice atinge 60% (trinta empresas) para as operadoras do grupo 1, 53,8% para as do grupo 2 (21 respostas) e apenas 25% para as do grupo 3 (9 transportadoras). A proporção de empresas de cargas comuns, fracionadas ou não, que operam rotas de pistas duplas e sentido único é significativamente maior do que entre as empresas de cargas especializadas.
5. As empresas do grupo 1 têm maior proporção de rotas com densidade inferior a 200 kg/m^3 do que as da categoria 2. Essas, por sua vez, têm maior proporção de rotas com tal característica do que as da classe 3.
6. No global, a configuração mais utilizada (39,8%) é o cavalo de dois eixos tracionando carreta de três eixos. Em segundo lugar ficam os caminhões trucados (28,2%) e em terceiro, os cavalos de dois eixos com carretas de dois eixos (15,7%), empatados com cavalos de três eixos com carretas de três eixos (15,7%). Configurações especiais, como os conjuntos Romeu-e-Julietta, e rodotrens são muito pouco usadas. A diferença entre os 39,8% e os 15,7% é estatisticamente significativa.

7. Nas operadoras de carga fracionada, o maior número de veículos é constituído por caminhões trucados (53,8%), enquanto as carretas leves (2 eixos) também melhoram de posição. Constatase que essas transportadoras utilizam em maior escala do que as demais os caminhões trucados e os cavalos de dois eixos tracionando carretas de dois eixos, configurações adequadas para o transporte de cargas de média ou baixa densidade. Juntos, esses dois tipos de veículos representam 71,9% da frota total das transportadoras de carga comum fracionada, 23,4% da frota das transportadoras de carga comum não fracionada e 29,4% da frota das transportadoras especializadas. Em compensação, as carretas mais pesadas (3 eixos) ganham destaque nas empresas dos tipos 2 e 3, onde representam respectivamente 76,2% e 70,5% da frota.
8. Os transportadores autônomos respondem por 60,3% da frota total. A distribuição das configurações é semelhante à da frota própria. Predominam cavalos de dois eixo com carretas de três eixos (41,7%) e caminhões trucados (34,8%). A proporção das carretas leves (dois eixos) é ainda menor do que na frota própria (9,1%). Nem todas essas diferenças são estatisticamente significativas.
9. Cerca de 66% das empresas de cargas fracionadas empregam, entre outros veículos, caminhões trucados para transportar cargas volumosas; 62% usam, entre outros, cavalos de dois eixos com carretas de dois eixos. A proporção de transportadores de cargas comuns fracionadas que movimentam mercadorias volumosas é maior do que a de outros tipos de transportadores.
10. Apenas 16 das 50 empresas (32%) das empresas de carga fracionada pesquisadas não admitem a hipótese de usar o DSR. Entre as de carga comum não fracionada, essa proporção aumenta para 22 em 39 (56,4%). Finalmente, na terceira, carga especializada, vinte entre 36 empresas (55,5%) não pensam em usar o DSR. O uso potencial do DSR é estatisticamente maior entre as empresas de cargas fracionadas do que entre as não fracionadas.
11. Embora a amostra seja limitada, há indício de que o DSR poderia substituir principalmente os caminhões trucados, com destaque para os de comprimento tradicional (até 8 m). Mas, mesmo os mais longos, para cabinas avançadas (9 a 10 m), no entanto, aparecem no levantamento. Esse destaque para os trucados deve-se possivelmente não só à ainda grande participação desse veículo na frota nacional, mas também à percepção das vantagens logísticas do DSR. O segundo candidato à substituição é o semi-reboque tradicional, com cavalos de dois eixos e carretas de três eixos. O conjunto de cavalo de dois eixos com carreta de dois eixos aparece na terceira posição. Só existem diferenças estatisticamente significativas entre a primeira e a terceira configuração.

12. Cerca de 34% dos usuários em potencial empregariam o DSR para cargas volumosas: 27% para cargas mais pesadas; e 39% para ambas. A versatilidade continua sendo elemento importante na escolha. Os comprimentos preferidos são os que têm medidas inteiras. Quanto maior o comprimento, maior a preferência. O valor de 10 m foi escolhido por 21 entre 67 transportadoras.
13. Entre os principais motivos para usar, apontados por 67 transportadoras, estão o aumento da cubagem (46 respostas), redução do número de veículos e motoristas (39), redução da ociosidade do cavalo mecânico (28). Outras razões como a melhor separação de cargas (17), possibilidade de deixar um semi-reboque na entrada da cidade (16), redução do tempo de carga e descarga (16) e possibilidade de troca de semi-reboques nos terminais (16) foram menos votadas.
14. Entre as 54 transportadoras que não admitem usar o DSR, os quatro principais motivos alegados são os seguintes: a) as rotas da empresa não comportam esse tipo de veículo (39 respostas); b) a densidade das cargas não justifica a adoção do DSR (24); c) é um veículo difícil de carregar e de manobrar nos terminais (19); d) as dimensões das cargas da empresa são incompatíveis com o DSR (17).
15. Constata-se preferência nítida pela tração 4x2, pelo *dolly C* (que concilia maior segurança com possibilidade de intercâmbio de carretas, mas ainda não é fabricado no país) e pela cabina avançada (que proporciona carretas mais compridas). As cinco principais restrições legais a que os frotistas estariam dispostos a se submeter são: a) limitação da velocidade a 80 km/h (44 respostas em 76); b) autorização especial de trânsito (33); c) inspeção técnica semestral por organismo cadastrado pelo Detran (29); d) uso obrigatório de freios ABS/ASR (24); e) carteira especial para os motoristas (24).
16. Os cinco principais cuidados voluntários que os frotistas estariam dispostos a tomar na operação do DSR são: a) treinamento especial para os motoristas do DSR (56 respostas); b) limitação da velocidade máxima a 80 km/h (48); c) operação desses veículos pelos melhores motoristas (47); d) adotar freios ABS/ASR (30); e) usar cavalo de no mínimo 360 hp (28).
17. Embora o assunto não tenha sido incluído no questionário formal, o contato informal com as transportadoras revela ceticismo generalizado em relação à viabilidade prática do DSR. Tal ceticismo baseia-se nas barreiras impostas pela atual legislação ao uso de veículos mais longos, às más condições de conservação das estradas e à suposição de que essa configuração é insegura.