



**Universidade de Brasília - UnB
Faculdade UnB Gama - FGA
Curso de Engenharia Automotiva**

**ÔNIBUS DE PISO DUPLO: PROPOSIÇÃO PARA
DIRECIONAMENTO DE UM NOVO REGULAMENTO
SOBRE OS ASPECTOS DE SEGURANÇA**

**Autor: Sara Duarte Gonçalves
Orientador: Alessandro Borges de Sousa Oliveira**

**Brasília, DF
2017**



SARA DUARTE GONÇALVES

**ÔNIBUS DE PISO DUPLO: PROPOSIÇÃO PARA DIRECIONAMENTO DE UM
NOVO REGULAMENTO SOBRE OS ASPECTOS DE SEGURANÇA**

Monografia submetida ao curso de graduação em Engenharia Automotiva da Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Automotiva.

Orientador: Prof. Alessandro B. de S. Oliveira, Dr Ing.

**Brasília, DF
2017**

CIP – Catalogação Internacional da Publicação*

Gonçalves, Sara.

Ônibus de piso duplo: proposição para direcionamento de um novo regulamento sobre os aspectos de segurança / Sara Duarte Gonçalves. Brasília: UnB, 2017. 98 p. : il. ; 29,5 cm.

Monografia (Graduação) – Universidade de Brasília
Faculdade do Gama, Brasília, 2017. Orientação: Alessandro
B. de S. Oliveira

1. Segurança veicular. 2. Ônibus. 3. De piso duplo I. Oliveira, Alessandro. II. Ônibus de piso duplo: proposição para direcionamento de um novo regulamento sobre os aspectos de segurança.

CDU Classificação



**ÔNIBUS DE PISO DUPLO: PROPOSIÇÃO PARA DIRECIONAMENTO DE UM
NOVO REGULAMENTO SOBRE OS ASPECTOS DE SEGURANÇA**

Sara Duarte Gonçalves

Monografia submetida como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Automotiva da Faculdade UnB Gama - FGA, da Universidade de Brasília, em (05/07/2017) apresentada e aprovada pela banca examinadora abaixo:

Prof.º: Alessandro Borges Sousa Oliveira, UnB/ FGA
Orientador

Prof.ª: Rita de Cássia Silva, UnB/ FGA
Membro Convidado

Prof.º: Cosme Roberto Moreira da Silva, UnB
Membro Convidado

Brasília, DF
2017

RESUMO

Quesitos relacionados à segurança veicular estão cada vez mais em destaque no Brasil e no mundo. Desde a sua invenção, os veículos vêm passando por mudanças para otimização de produção, diminuição de custos, aumento de segurança, entre outros. O Brasil é um país com uma malha rodoviária de aproximadamente 1.713.885 quilômetros e o quinto maior mercado da indústria automobilística mundial, contando com 601.522 ônibus. Uma escolha muito comum entre as companhias de transporte rodoviária é a utilização de ônibus duplo-piso. No entanto esse tipo de veículo é pouco abordado nas normativas brasileiras no que tange teste sobre a segurança estrutural. Atualmente as normativas falam sobre esse tipo de veículo, porém os métodos de cálculo e ensaios não utilizam o modelo em questão. Dessa maneira, nesse trabalho é feita uma revisão normativa sobre o assunto e ainda apresenta uma proposição para direcionamento de um novo regulamento sobre os aspectos de segurança. Devido aos acidentes que aconteceram nos últimos anos, foram levantados questionamentos e informações a respeito deste tipo de veículo sendo identificado a falta de especificações de requisitos de ensaio estrutural no que tange a superestrutura. A legislação brasileira já passou por atualizações para veículo da característica M3 estando vigente a Resolução CONTRAN n.º 445 de 2013.

Palavras-chave: Segurança veicular. Ônibus. Duplo-piso.

ABSTRACT

Requirements related to vehicle security are increasingly prominent in Brazil and worldwide. Since its invention, the vehicle is undergoing changes to production optimization, cost savings, increased safety, among others. Brazil is a country with a road network of approximately 1,713,885 km and the fifth largest market in the world auto industry, with 562,343 bus. A very common choice among companies of road transport is the use of double-deck buses. However this type of vehicle is rarely addressed in Brazilian regulations regarding testing on the structural safety. Currently the normative talk about this type of vehicle but the calculation methods and assays do not use the model in question. Thus, in this work, a regulatory review on the subject and still has a proposition for targeting a new regulation on the security aspects. Because of the accidents that have happened in recent years, questions have been raised and information regarding this type of vehicle being identified lack of specifications. Brazilian law has gone through three updates to vehicle M3 feature being the current CONTRAN Resolution No. 445 of 2013.

Keywords: *Vehicular safety. Bus. Double-deck.*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Evolução da frota	11
Figura 2. Gráfico da evolução da frota de veículos da categoria M2 e M3.....	12
Figura 3. Acidentes envolvendo ônibus e micro-ônibus	13
Figura 4. Primeiro ônibus piso duplo motorizado, modelo B-Type Bus	15
Figura 5. Modelo Campione DD	16
Figura 6. Ônibus de piso duplo londrino	17
Figura 7. Ônibus turístico de Nova York.....	17
Figura 8. Acidente com ônibus da empresa Penha.....	18
Figura 9. Evolução normativa brasileira	21
Figura 10. Fluxograma criação ou revisão de uma Resolução.....	23
Figura 11. Evolução do normativo de segurança veicular de ônibus e micro-ônibus.	24
Figura 12. Itens de segurança Resolução Contran nº 811 de 1996	25
Figura 13. Itens de segurança Resolução Contran nº 316 de 2009	26
Figura 14 - Ensaio de estabilidade	27
Figura 15 - Ensaio resistência frente ao capotamento - Carga sobre o teto	28
Figura 16 – Ensaio resistência frente ao capotamento – Carga Lateral.....	29
Figura 17 - Espaço residual.....	30
Figura 18 - Organograma do WP.29	34
Figura 19 - Espaço residual (dimensão em mm).....	35
Figura 20 - Superestrutura	36
Figura 21 - Modelo de uma seção de carroceria	36
Figura 22 - Posicionamento do veículo para realização do ensaio	38
Figura 23 - Etapas do teste de capotamento de um veículo completo.....	39
Figura 24 – Teste de capotamento de uma seção de carroceria	40
Figura 25 - Teste utilizando pêndulo em uma seção de carroceria	42
Figura 26 – Método para cálculo da energia total	42
Figura 27 – modelo com variáveis das equações	44
Figura 28 – Modelo computacional do teste de pêndulo em uma seção da carroceria	45
Figura 29 - Definição de baias.....	47

Figura 30 - Modelamento do processo de deformação e comportamento do suporte elástico não linear	49
--	----

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABS – *Anti-lock Breaking System*
ANTT – Agência Nacional de Transportes Terrestres
CG – Centro de Gravidade
CONTRAN – Conselho Nacional de Trânsito
CTAV – Câmara Temática de Assuntos Veiculares
CTB – Código de Trânsito Brasileiro
DENATRAN – Departamento Nacional de Trânsito
DOU – Diário Oficial da União
DPRF – Departamento da Polícia Rodoviária Federal
DPVAT – Danos Pessoais Causados por Veículos Automotores de Via Terrestre
ECE – *Economic Commission for Europe*
EEC – *European Economic Community*
ESP – *Electronic Stability Program*
FMVSS – *Federal Motor Vehicle Safety Standards*
GRSG – Grupo de Trabalho sobre Segurança
ITC – *Inland Transport Committee*
LTM – *London Transport Museum*
NBR - Norma Brasileira
NHTSA – *National Highway Traffic Safety Administration*
ONU – Organização das Nações Unidas
PBT – Peso Bruto Total
RENAVAM – Registro Nacional de Veículos Automotores
SAE - *Society of Automotive Engineers*
TCC – Trabalho de Conclusão de Curso
UNECE – *United Nations Economic Commission for Europe*

LISTA DE SIGLAS

M1 – Veículo automotor destinado ao transporte de passageiros, que não tenham mais do que oito assentos, além do assento do motorista.

M2 – Veículo automotor destinado ao transporte de passageiros, com mais de oito pessoas, exclusive o condutor, e peso bruto total não superior a 5 toneladas.

M3 – Veículo automotor destinado ao transporte de passageiros, com mais de oito pessoas, exclusive o condutor, e peso bruto total superior a 5 toneladas.

Massa em ordem de Marcha – a massa do veículo com carrocerias, líquidos, ferramentas, estepe, motorista e um membro da tripulação se o veículo dispor de assento para tal.

N1 – Veículo automotor destinado para o transporte de cargas e que contenham uma massa máxima não superior a 3,5 toneladas.

WP.29 – Fórum Mundial para a Harmonização dos Regulamentos de Veículos.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO	11
1.2. BREVE HISTÓRICO DE ÔNIBUS DE PISO DUPLO	15
1.3. MOTIVAÇÃO	17
1.4. OBJETIVO GERAL.....	19
1.4.1. <i>Objetivos específicos</i>	19
1.5. ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	19
2. NORMATIVAS ACERCA DA SEGURANÇA VEICULAR DE ÔNIBUS.....	20
2.1. LEGISLAÇÃO	20
2.1.1. <i>Legislação nacional</i>	20
2.1.2. <i>Legislação internacional</i>	30
2.1.2.1. <i>Legislação americana</i>	30
2.1.2.2. <i>Legislação europeia</i>	31
3. CÁLCULO DA RESISTÊNCIA DA SUPERESTRUTURA.....	35
3.1. PRIMEIRO MÉTODO – CAPOTAMENTO DE UM VEÍCULO COMPLETO	37
3.1.1. <i>Limitações do método para ônibus de piso duplo</i>	39
3.2. SEGUNDO MÉTODO.....	40
3.2.1. <i>Limitações do método para ônibus de piso duplo</i>	40
3.3. TERCEIRO MÉTODO	40
3.3.1. <i>Limitações do método para ônibus de piso duplo</i>	45
3.4. QUARTO MÉTODO.....	45
3.4.1. <i>Limitações do método para ônibus de piso duplo</i>	46
3.5. RESISTÊNCIA DA SUPERESTRUTURA PARA ÔNIBUS DUPO PISO.....	46
4. CONCLUSÕES	50
4.1. TRABALHOS FUTUROS	50
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	52
ANEXOS	56

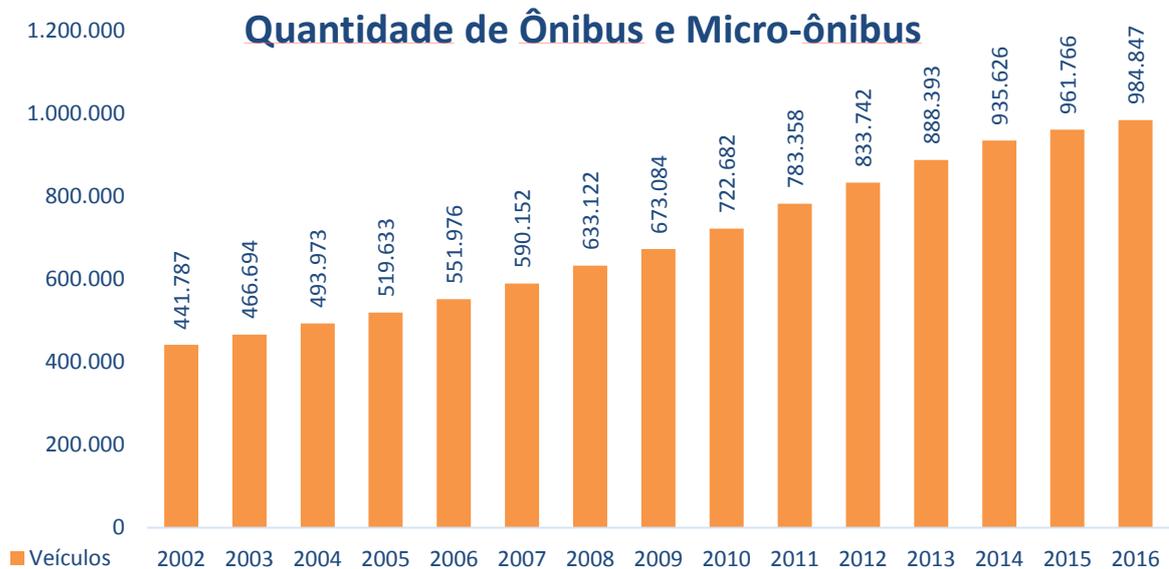
1. INTRODUÇÃO

Este trabalho trata de apresentar o cenário nacional em termos de normativas de segurança voltadas para veículos rodoviários, especificamente ônibus de piso duplo. De posse destas normas serão identificadas as suas limitações para utilização neste tipo específico de veículo. Propõem-se, portanto, complementos legislativos à normas vigentes tendo em vista aprimorar a segurança veicular nestes veículos, principalmente no que diz respeito a resistência da superestrutura.

1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO

A política de desenvolvimento do Brasil seguida por Getúlio Vargas e Juscelino Kubitschek tinha o intuito de criar uma extensa matriz rodoviária ligando todo o país. Desde então, o Brasil tem malha viária baseada no transporte rodoviário. O Brasil é o quarto maior país em extensão de malha viária e ocupa o quinto maior mercado da indústria automobilística.

Ao longo dos anos, a frota de veículos vem aumentando cada vez mais, a Figura 1 mostra essa evolução. Segundo o DENATRAN (2017a), a base de dados do sistema RENAVAL, ao final de 2016, possuía uma frota de 93.867.016 veículos emplacados. Destes 1,05% são do tipo ônibus e micro-ônibus.



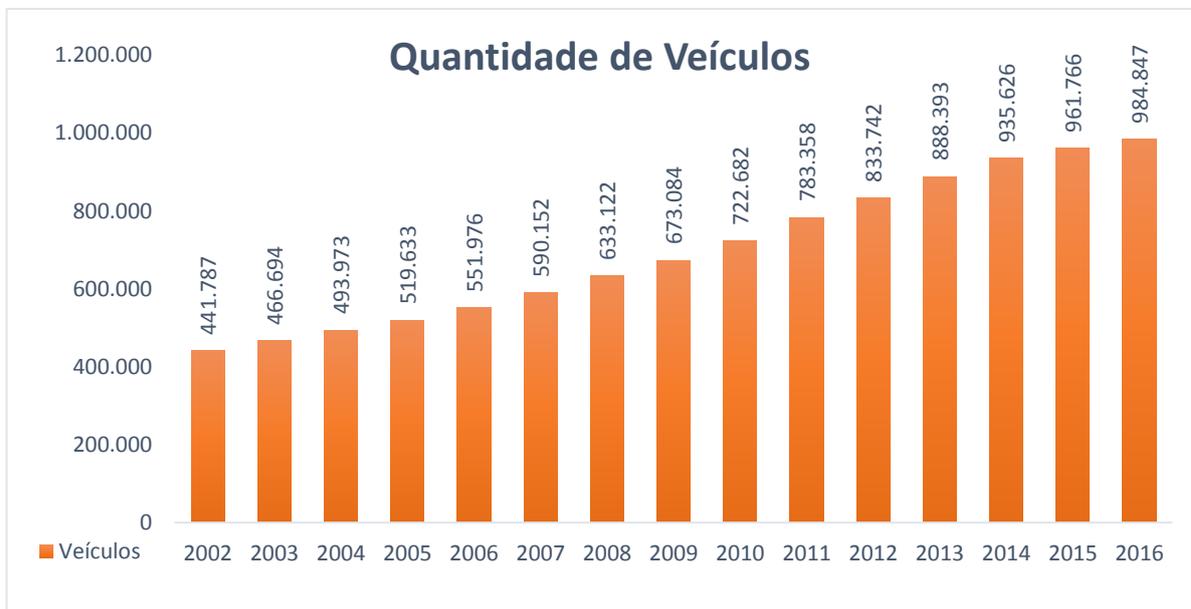
Fonte: Denatran, 2017a

Figura 1. Evolução da frota

A utilização do transporte coletivo para viagens de longa distância ainda é a opção de muitas pessoas. A Agência Nacional de Transporte Terrestre (ANTT,

2014a) divulgou que os serviços de transporte rodoviário interestadual e internacional de passageiros no Brasil são responsáveis por uma movimentação superior a 140 milhões de usuários/ano. A evolução do crescimento da frota destes tipos de veículo está mostrada na Figura 2, construída a partir dos dados do Denatran (DENATRAN,2014b).

Em análise à Figura 2, pode-se observar um aumento exponencial de veículos ao longo do tempo. Percebe-se também que a frota teve um aumento de 122,9% em 14 anos. Analisando o crescimento ano a ano é possível identificar uma menor variação de crescimento em relação ao ano anterior de 2,4% no ano de 2016 e uma maior variação em relação ao ano anterior de 8,4% no ano de 2011.



Fonte: Denatran, 2017

Figura 2. Gráfico da evolução da frota de veículos da categoria M2 e M3

Dados divulgados pela ANNT em 2014, constava que no Brasil, havia 367 ônibus de piso duplo habilitados para a operação de serviço regular de transporte rodoviário nacional (ANTT,2014b).

Conforme informado pelo DENATRAN, até 30 de abril de 2017 existia 1973 veículos cadastrados no RENAVAM com os códigos específicos de marca/modelo/versão de ônibus duplo piso. A tabela completa da quantidade de veículos por código está apresentada no Anexo III.

Este tipo de ônibus devido a sua característica, geralmente transportam uma quantidade maior de pessoas, chegando a 74 passageiros mais o motorista.

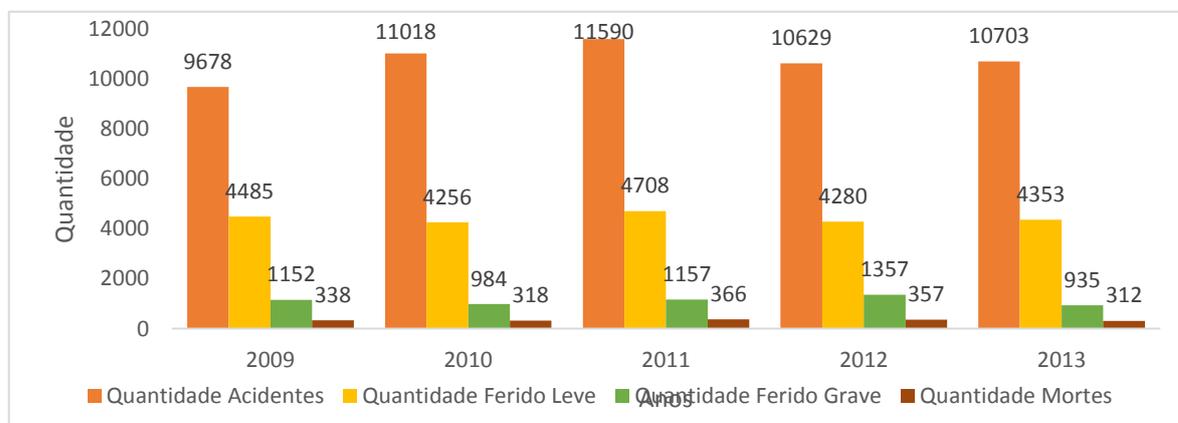
Uma consequência do aumento da frota de veículos é o aumento do número de acidentes de trânsito. A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), em sua norma NBR 10697, define acidente de trânsito como:

“Todo evento não premeditado de que resulte dano em veículo ou na sua carga e/ou lesões em pessoas e/ou animais, em que pelo menos uma das partes está em movimento nas vias terrestres ou áreas abertas ao público. Pode originar-se, terminar ou envolver veículo parcialmente na via pública.”
ABNT(1989).

Atualmente, os dados de acidentes disponibilizados pelo Departamento de Polícia Rodoviária Federal (DPRF) não estão tratados. Para mostrar algumas estatísticas, neste trabalho será utilizado uma tabela, Anexo I, disponibilizada extraoficialmente, com os dados referentes aos anos de 2012, 2013 e 2014 até o mês de agosto. Os próximos parágrafos irão tratar destas informações.

O DPRF realizou um levantamento, nas rodovias federais, de veículos envolvidos em acidentes e constatou-se que, de um total de 279.252 acidentes em 2013, 158.710 envolveram veículos de passeio, 69.862 envolveram veículos de carga, 10.841 veículos de uso coletivo, 33.398 motocicletas e 6.441 outros tipos de veículos. Além disso, pode-se observar que a maior causa de acidentes deriva de colisão traseira (34,5%), seguido de colisão lateral (21,9%), colisão transversal (11,9%) e saída de pista (10,4%). Os dados completos dos acidentes por tipo de veículos estão indicados no Anexo I.

Especificamente com relação aos acidentes envolvendo ônibus e micro-ônibus nas rodovias federais, o DPRF também forneceu dado (Anexo II) demonstrados na Figura 3. O gráfico apresenta a quantidade de acidentes, feridos e mortes do ano de 2009 a 2013.



Fonte: DRPF

Figura 3. Acidentes envolvendo ônibus e micro-ônibus

Em análise à Figura 3, é possível identificar que o ano de 2011 foi aquele com maior número de acidentes envolvendo feridos leves e mortes. Em 2012 houve uma redução de 8,29% no número de acidentes em relação ao ano anterior e em 2013, mesmo com um leve aumento de 74 acidentes e 73 feridos leves em relação à 2012, obteve o menor número de feridos graves e mortes comparado com os outros anos. Contrastando a quantidade de morte em relação a quantidade de vítimas envolvidas, a taxa de mortalidade atingiu 6% no ano de 2012.

Os dados atuais utilizados para as estatísticas de acidentes se baseiam nos boletins de ocorrência realizados, número de atendimentos pelo sistema de saúde e pela solicitação de indenizações do seguro obrigatório de danos pessoais causados por veículos automotores de via terrestre, utilizado para indenizar vítimas de acidente de trânsito.

Estes dados não são precisos pois um sistema não é conectado ao outro. O acidente ocorre e a vítima é encaminhada ao sistema de saúde, o acidente é registrado como se tivesse ocorrido na cidade onde a vítima foi acolhida. Também ocorre situações onde a vítima falece alguns meses depois por problemas acarretados devido ao acidente e para a estatística, esta morte não conta como um acidente de trânsito.

Quando se analisam os acidentes veiculares no âmbito internacional, é possível encontrar dados detalhados com as estatísticas de acidentes de trânsito e várias pesquisas relacionadas à segurança veicular. Estas informações mostram que o Brasil tem um déficit de estatística na área de acidentes de trânsito que deve ser melhorada.

Para obtenção de dados mais precisos é necessário um maior investimento das autoridades brasileiras no âmbito de investigação de acidentes na matriz rodoviária nacional.

Uma vez que este trabalho é focado na segurança dos veículos de transporte coletivo, em especial os ônibus de piso duplo, esperava-se encontrar mais dados relacionados a este tipo de veículo. Mesmo com dados não detalhados sobre acidentes dos ônibus de piso duplo é possível achar notícias de acidentes deste tipo de veículo. Em muitos casos esses acidentes causam o capotamento do veículo que envolvem várias vítimas e muitas de forma letal.

No próximo item, um breve histórico e aplicação de ônibus de piso duplo é apresentada para a familiarização do leitor com tal tipo de transporte.

1.2. BREVE HISTÓRICO DE ÔNIBUS DE PISO DUPLO

Na Resolução CONTRAN n.º 445 foi definido que a composição de piso duplo é um veículo de categoria M3, simples ou articulado, possuindo dois compartimentos de passageiros, situados em pisos sobrepostos total ou parcialmente, que comunicam-se entre si por meio de escada. O compartimento do motorista pode ser ou não intercomunicável com um dos compartimentos de passageiros.

As carrocerias de piso duplo surgiram na Inglaterra no ano de 1820 quando a tração animal era largamente utilizada. Na década 1910 foram produzidos os primeiros ônibus piso duplo motorizado, modelo mostrado na Figura 4, que geravam mais lucros do que os movidos a tração animal. O Museu do Transporte de Londres (LTM) possui um grande acervo sobre a evolução do transporte londrino. (LTM, 2010a).



Fonte: LTM, 2010b

Figura 4. Primeiro ônibus piso duplo motorizado, modelo B-Type Bus

Os primeiros modelos (Figura 4) continham o segundo andar aberto. Ao passar dos anos esses modelos foram atualizados até chegarem aos modelos mais atuais.

No Brasil os primeiros ônibus de piso duplo foram fabricados pela empresa THAMCO (Thamer Comércio de Ônibus) era um modelo urbano e foi denominado THAMCO ODA. Em 1990 começou a fabricação do ônibus de piso duplo rodoviário que foi batizado de Gemini. A empresa adquiriu muitas dívidas e foi arretada pela atual NEOBUS que não continuou com a produção dos modelos de piso duplo (Ônibus paraibanos, 2012). No ano de 1995 a empresa MARCOPOLO lançou o seu primeiro ônibus rodoviário de piso duplo, o nome do modelo, Paradiso 1800 DD, se estende até os dias atuais (Marcopolo, 2014). A empresa encarroçadora BUSCAR também lançou seu modelo de piso duplo, o Panorâmico DD, não sendo mais comercializado devido a falência da empresa. Outro modelo existente no país nos dias atuais é o Campione DD da empresa COMIL (Comil, 2012). A Figura 5 mostra o modelo da empresa COMIL.



Figura 5. Modelo Campione DD

Fonte: COMIL, 2014

Desde o surgimento os modelos passaram por mudanças. Há hoje três tipos de aplicações para este modelo de veículo. A mais usada no Brasil é a de transporte rodoviário (Figura 5).

Há também a aplicação urbana, que foi utilizada em alguns estados brasileiros na década de 1990 e muito utilizada em Londres, desde a origem destas carrocerias até os dias atuais. A Figura 6 mostra o típico ônibus londrino conhecido mundialmente.

Os ônibus de aplicação turística são utilizados em vários países do mundo e seguem uma rota passando por principais pontos turísticos. A Figura 7 mostra um ônibus turístico utilizado para passeio nas ruas de Nova York.



Figura 6. Ônibus de piso duplo londrino

Fonte: Transport for London, 2014



Figura 7. Ônibus turístico de Nova York

Fonte: NewYork, 2014

1.3. MOTIVAÇÃO

Nos últimos anos ocorreram, nas rodovias federais, acidentes envolvendo ônibus de piso duplo que levantaram questionamentos a respeito da segurança e resistência das estruturas deste tipo de ônibus.

A mídia brasileira divulgou amplamente em seus veículos de comunicação (sites, jornais, revistas, blogs) diversos acidentes envolvendo os ônibus de piso duplo nos últimos anos, o que chama atenção para a segurança desse tipo de veículo.

Um acidente que ganhou destaque na mídia foi o ocorrido em dezembro de 2013 com o ônibus da empresa Penha que caiu em uma ribanceira às margens da rodovia Régis Bittencourt, em São Lourenço da Serra, São Paulo, ocasionando dezesseis mortes (Veja, 2013). Como mostrado na Figura 8, o veículo teve seu andar superior achatado, o que levou a contestamentos acerca do padrão de qualidade, segurança e resistência estrutural deste tipo de veículo.



Fonte: G1 São Paulo, 2013

Figura 8. Acidente com ônibus da empresa Penha

Outros exemplos de acidentes envolvendo ônibus de piso duplo incluem o acontecido na BR-101 com o ônibus de turismo que levava integrantes de uma famosa banda nacional (G1 Pernambuco, 2014) e o ocorrido na BRB-262 com o ônibus de turismo que partiu de Caldas Novas (GO) com destino a Belo Horizonte (MG) (G1 CENTRO-OESTE, 2014).

Tendo em vista que a resolução brasileira vigente para os quesitos de avaliação estrutural de carroçarias dos veículos de transporte de passageiro categoria M3 isenta ônibus de piso duplo, pretende-se, neste trabalho, apresentar

uma proposição para direcionamento de um novo regulamento sobre os aspectos de segurança.

1.4. OBJETIVO GERAL

O objetivo principal deste trabalho é analisar a regulamentação brasileira sobre a segurança de ônibus de piso duplo e propor um direcionamento para o aprimoramento e adequação da regulamentação vigente. Principalmente no que tange a resistência da superestrutura deste tipo veículo a eventos de rolagem.

1.4.1. Objetivos específicos

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- Análise da evolução das normativas brasileiras relacionadas à segurança veicular de ônibus;
- Análise de normas internacionais vigentes neste mesmo contexto e comparação entre ambas (nacionais e internacionais);
- Estudo e análise do procedimento de cálculo da resistência da superestrutura de ônibus (piso único e duplo) atualmente vigente na Resolução CONTRAN n.º445 de 2013, ressaltando as limitações das normas nacionais para ônibus de piso duplo.
- Proposição de um direcionamento de um novo regulamento sobre os aspectos de segurança.

1.5. ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

O trabalho está organizado da seguinte forma:

Capítulo 1 – Destinado a contextualizar o leitor sobre o panorama da segurança veicular no Brasil e ainda apresentar o conceito de ônibus de piso duplo, a motivação e os objetivos deste trabalho.

Capítulo 2 – Este capítulo apresentará ao leitor a evolução das normativas brasileiras relacionadas à segurança veicular de ônibus e apresentará as normativas internacionais para este tipo de veículo.

Capítulo 3 – Neste capítulo serão mostrados os métodos de ensaio de resistência da superestrutura presente nos normativos.

Capítulo 4 – Conclusões.

2. NORMATIVAS ACERCA DA SEGURANÇA VEICULAR DE ÔNIBUS

2.1. LEGISLAÇÃO

Este tópico irá abordar o histórico da legislação nacional e internacional relacionada à segurança veicular de ônibus, desde a criação dos normativos até o período atual

2.1.1. Legislação nacional

O Código de Trânsito Brasileiro (CTB) em seu Art. 12, inciso I, estabelece que é de competência do Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN), estabelecer as normas regulamentares referidas no Código e as diretrizes da Política Nacional de Trânsito.

Como forma de definição de veículos, esses são conceitualizados conforme algumas características. O CTB define micro-ônibus como um veículo automotor de transporte coletivo com capacidade para até vinte passageiros e ônibus como veículo automotor de transporte coletivo com capacidade para mais de vinte passageiros, ainda que transporte menor número, devido a adaptações que visem maior comodidade (BRASIL, 1997). Já a definição que também é utilizada internacionalmente, estabelecida pela NBR 13776, classifica os veículos micro-ônibus e ônibus por categoria. Na qual M2 é o veículo projetado e construído para o transporte de passageiros, que tenha mais que oito assentos, além do assento do motorista, e que contenha uma massa máxima não superior a 5 t. E M3 é o veículo projetado e construído para transporte de passageiros, o qual tenha mais do que oito assentos, além do assento do motorista, e que contenha uma massa superior a 5 t.

As diferentes formas para definir os veículos são utilizadas na sua classificação. A legislação nacional que estabelece os requisitos de segurança para os ônibus de piso duplo utiliza a classificação dada pela NBR 13773:2006, em que o veículo é definido como da categoria M3.

As normativas brasileira passaram por evolução ao longo do tempo, através de processos de revisão e criação. Visando ao aumento da segurança veicular e à expansão da tecnologia. A Figura 9 mostra a evolução normativa em relação as principais medidas de segurança veicular até o ano de 2013.



Segurança Veicular – Evolução Normativa



Fonte: Slide de apresentação reunião Mercosul (Denatran, 2014c)

Figura 9. Evolução normativa brasileira

Analisando a Figura 9 observa-se que antes de 1998, quando o CTB foi instituído, já existiam algumas resoluções que garantiam algum tipo de segurança para os veículos. Estas normativas previam os procedimentos para avaliação dos sistemas de freio nos veículos, os requisitos para o desempenho e fixação de espelhos retrovisores e os requisitos para acionadores de vidros de janela, de teto solar, de painel divisor de veículos, objetivando reduzir a possibilidade de acidentes. Também previa que os veículos deveriam sair de fábrica atendendo às exigências mínimas de ancoragem dos assentos, deslocamento do sistema de controle de direção, sistema de controle de direção absorvedor de energia e sistema de combustível.

Em 1998 foi estabelecido o CTB e com ele vieram novas exigências como os requisitos mínimos para instalação, especificação e procedimentos de ensaio de cinto de segurança e os requisitos técnico para encosto de cabeça. Em 2003 foram estabelecidos os requisitos de fabricação e instalação de para-choque traseiro para veículos de carga.

Já nos anos de 2006 e 2007, visando à necessidade de aperfeiçoar e atualizar os requisitos de segurança, foi estabelecida a obrigatoriedade de realização de ensaios de resistência e ancoragem dos bancos e apoios de cabeça, de proteção aos ocupantes e integridade do sistema de combustível decorrente de impactos, de desempenho dos sistemas limpadores e lavadores do para-brisa. Bem como a fixação de espelhos retrovisores, referentes aos sistemas de iluminação e sinalização e para vidros de segurança.

Em 2008 o CONTRAN estabeleceu condições mínima de segurança para o transporte de passageiros com idade inferior a dez anos. Em 2009 foram criadas as resoluções que dispunham sobre a obrigatoriedade do uso do equipamento suplementar de segurança passiva (Air Bag) e sistema antitravamento das rodas (ABS), estabelecendo ainda requisitos de segurança para veículos de transporte coletivo de passageiros.

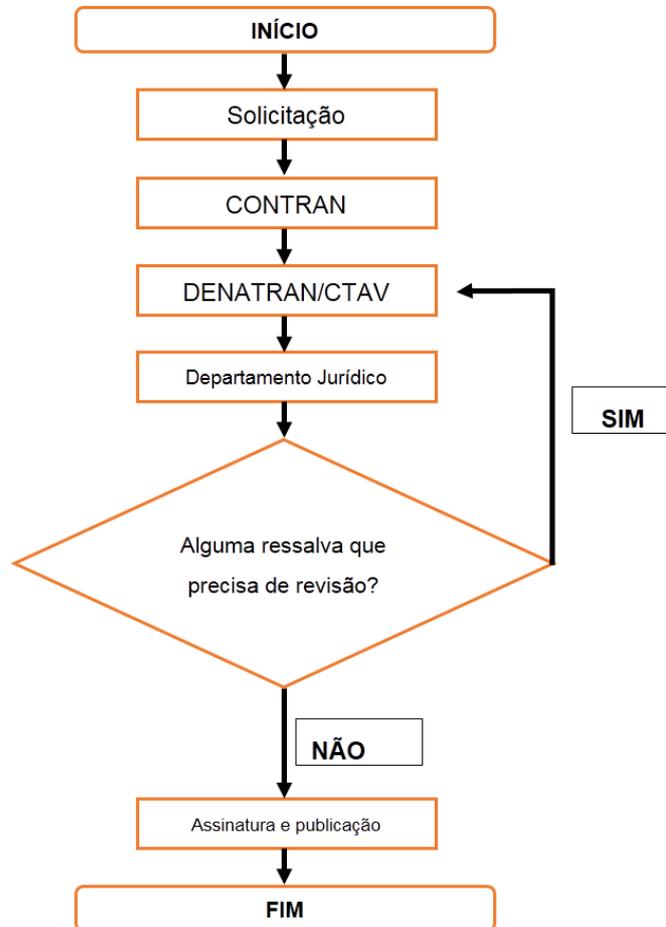
Na década de 2010, foram determinados requisitos de segurança para moto-táxi e moto-frete. Sendo criada também a Portaria Conjunta n.º 69 entre DENATRAN e a Secretaria de Direito Econômico do Ministério da Justiça com procedimentos para realização dos *recalls* de veículos. Novo regulamento dos requisitos de segurança para veículos de transporte coletivo de passageiros e a obrigatoriedade de espelhos retrovisores ou dispositivos do tipo câmera-monitor para visão indireta em veículos destinados à condução coletiva de escolares.

A imagem disponibilizada pelo DENATRAN trata das normativas criados até 2013 e objetiva itens que estão em análise a elaboração de requisitos para a década atual, como impacto lateral, capotamento, impacto contra pedestre, fixação de sistema de retenção de crianças e do sistema de controle de estabilidade (ESP).

Dos assuntos programados pelo DENATRAN, em 2015 foi publicada a Resolução relativa ao sistema de controle de estabilidade para veículos leves e em 2016 para veículos pesados.

A evolução normativa apresentada trata de maneira abrangente os itens de segurança. Para saber a real aplicabilidade por tipo de veículo é necessário consultar as resoluções disponíveis no site do DENATRAN. No decorrer do trabalho serão detalhadas as aplicáveis a veículos de transporte coletivo de passageiros.

Para que seja criada ou revista uma resolução é necessária algumas etapas. Para facilitar sua compreensão estas etapas estão demonstradas na Figura 10 e descritas a seguir.



Fonte: Autor

Figura 10. Fluxograma criação ou revisão de uma Resolução.

Na

Fonte: Autor

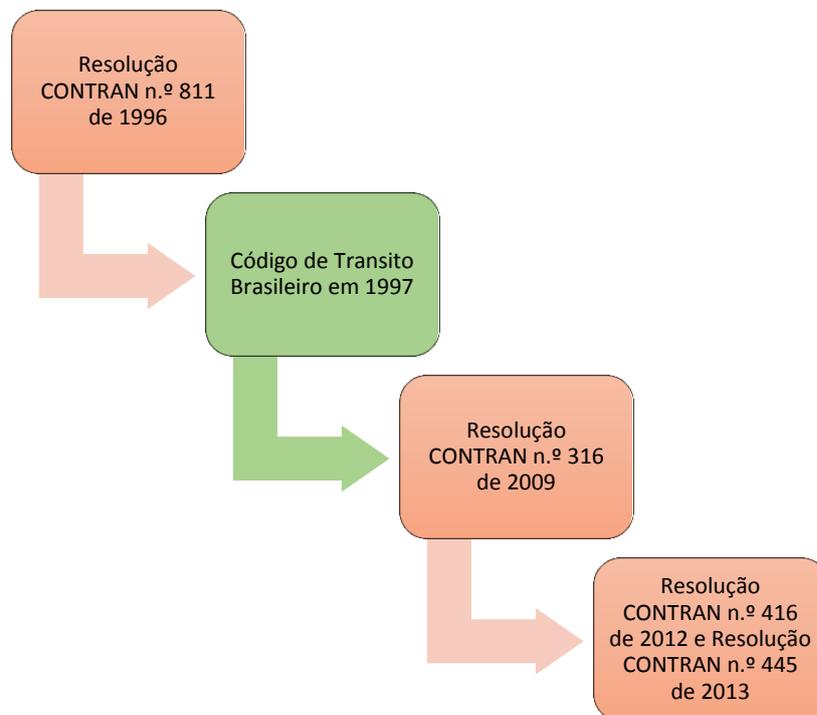
Figura 10 o ponto de partida para a revisão ou criação de uma resolução se dá através de uma solicitação de uma pessoa física, entidades, associações de classe, equipe interna do órgão ou outros órgãos. Essa solicitação é encaminhada ao CONTRAN para análise. O CONTRAN utiliza do DENATRAN e da Câmara Temática de Assuntos Veiculares (CTAV) para acessória técnica dos itens da solicitação.

A CTAV é um órgão técnico vinculado ao CONTRAN integrada por especialistas e tem como objetivo estudar e oferecer sugestões e embasamento

técnico sobre assuntos específicos da área veicular para decisões do colegiado (DENATRAN,2014d).

Com o parecer técnico da CTAV/DENATRAN é redigida a minuta da nova resolução, a qual é encaminhada ao departamento jurídico para revisão. Após a revisão, caso seja aprovado, o processo é encaminhado para o CONTRAN, assinado e publicado no Diário Oficial da União (DOU). Caso contrário, ele é reencaminhado ao DENATRAN para reformulação e nova análise.

A legislação brasileira a respeito da segurança de ônibus passou por várias atualizações e atualmente está na sua terceira versão. A Figura 11 mostra a evolução da legislação a respeito da segurança veicular dos ônibus e micro-ônibus, categorias M2 e M3.



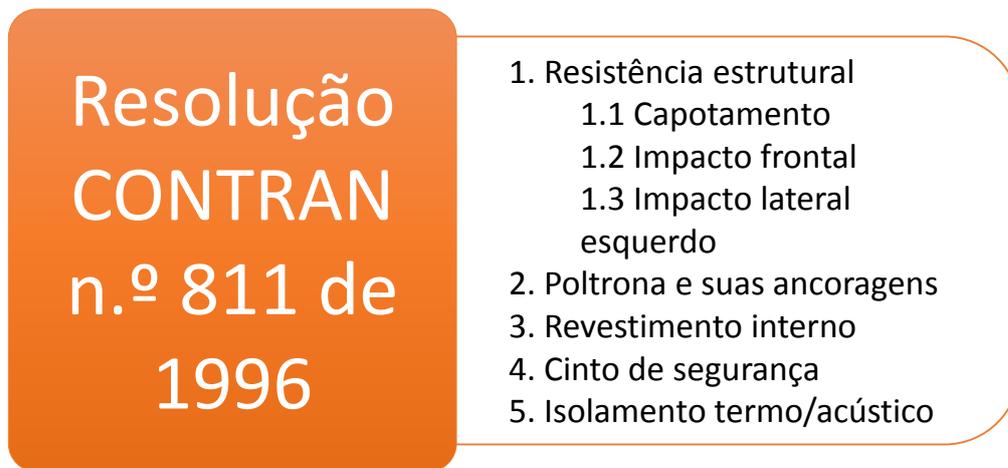
Fonte: Autor

Figura 11. Evolução do normativo de segurança veicular de ônibus e micro-ônibus.

Conforme mostrado na Figura 11, a evolução das resoluções pode ser dividida em 4 etapas. No entanto, a Resolução CONTRAN nº 416, de 09 de agosto de 2012 diz respeito a veículos M2 e não será detalhada neste texto.

Como pode ser visto na Figura 11, a primeira foi a Resolução CONTRAN n.º 811, de 1996, instituída anteriormente ao CTB. Esta resolução estabelecia os requisitos de segurança para veículo de transporte coletivo de passageiros (ônibus e micro-ônibus) de fabricação nacional e estrangeira. No que tange a segurança dos

veículos rodoviários, estava previsto que deveriam apresentar resistência estrutural quanto ao capotamento, impacto frontal e impacto lateral esquerdo, atender os critérios de ancoragem dos bancos, conter cinto de segurança de 3 pontos para motorista e tripulante e de 2 pontos para os passageiros, atender aos requisitos aplicáveis aos materiais de revestimento interno e possuir revestimento termo/acústico no compartimento do motor. Esta resolução não mencionava os ônibus de piso duplo. A Figura 12 mostra os itens de segurança pedidos nesta resolução.



Fonte: Autor

Figura 12. Itens de segurança Resolução Contran nº 811 de 1996

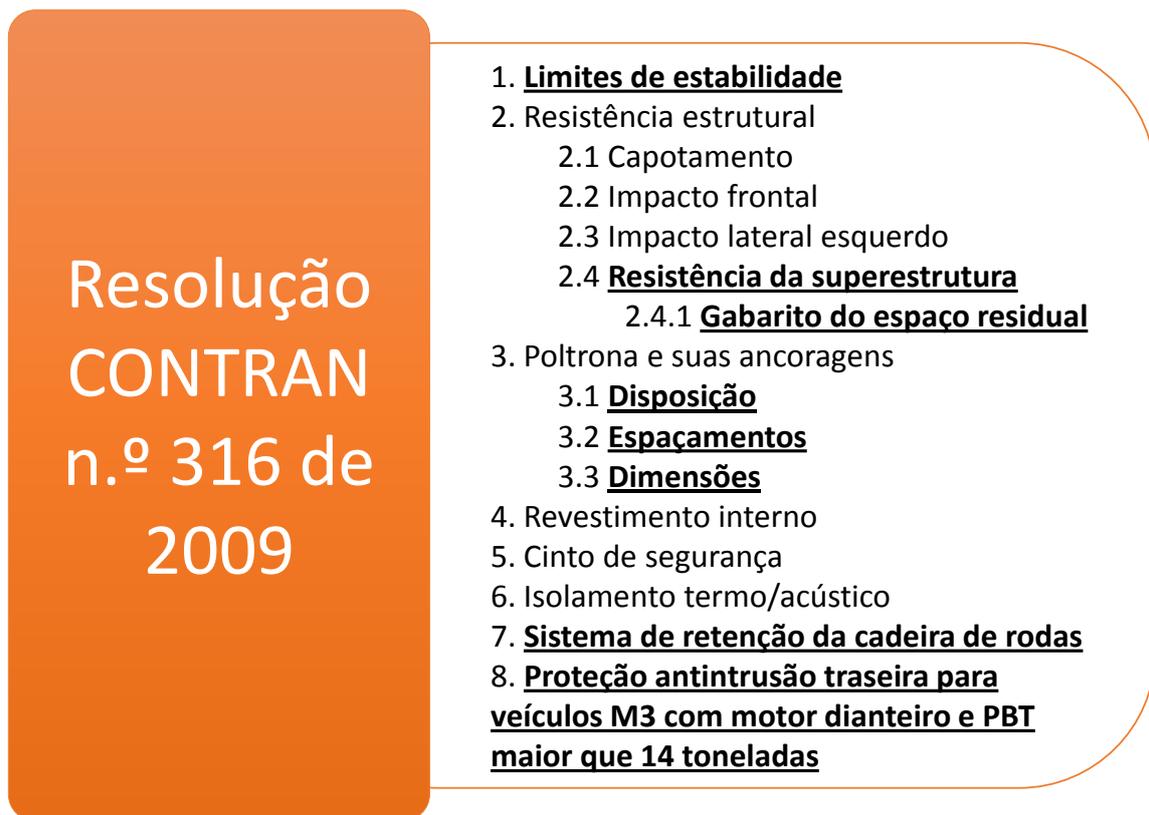
A segunda legislação foi a Resolução CONTRAN n.º 316, de 08 de maio de 2009 como mostrado na segunda etapa da evolução da Figura 11. Esta Resolução passou a classificar seus veículos de acordo com a NBR 13776 em categorias M2 e M3, conforme a sua composição e aplicação. Esta resolução foi criada após o CTB, que estabeleceu prazo para que o CONTRAN revesse ou ratificasse as normas existentes. Foi uma atualização feita treze anos após a primeira normativa.

Conforme mostra a Figura 9, com o aumento da preocupação com a segurança veicular, ocorreu uma evolução das normativas que faz referência aos itens de segurança ativa e passiva. A legislação brasileira passou a cobrar uma maior quantidade destes itens, o que levou a atualização da normativa de veículos de transporte coletivo de passageiro.

Nesta resolução, para os veículos rodoviários, foram mantidos os itens citados da resolução anterior e acrescentados alguns outros. Ela abordou de maneira mais objetiva, as saídas de emergência, acrescentou os requisitos para o sistema de retenção de cadeira de rodas, avaliação da proteção antintrusão traseira para

veículo M3 com o motor dianteiro e Peso Bruto total (PBT) maior que 14 t, avaliação do limite de estabilidade, avaliação da superestrutura com o gabarito do espaço residual, determinou as disposições, espaçamentos, dimensões e os requisitos gerais para os assentos, determinou o campo de aplicação dos requisitos de avaliação estrutural.

A Figura 13 mostra os itens de segurança abordados nesta resolução, os itens grifados são os acrescentados da resolução anterior.



Fonte: Autor

Figura 13. Itens de segurança Resolução Contran nº 316 de 2009

Finalizando a análise da Figura 11, no intuito de possuir legislação específica para cada categoria de veículo, a Resolução CONTRAN n.º 316, de 2009 foi dividida em duas. Uma para os requisitos de segurança para veículo de transporte de passageiros de categoria M2, Resolução CONTRAN n.º 416, de 09 de agosto de 2012 e outra para requisitos de segurança para veículos de passageiros do tipo M3, Resolução CONTRAN n.º 445, de 25 de julho de 2013, atualmente vigente. Esta resolução manteve os itens da anterior, no âmbito de veículos categoria M3, com o acréscimo da classificação deste tipo de veículo quanto a aplicação particular.

Em 2016 a Resolução CONTRAN n.º 445/13 passou por duas atualizações. A Resolução CONTRAN n.º 629, de 30 de novembro de 2016 que substituiu os anexos

II e III e a Resolução CONTRAN nº 646, de 14 de dezembro de 2016 que alterou os limites de cor diurna dos dispositivos refletivos a serem instalados nos veículos da categoria M3.

A Lei nº 12.281, de 4 de maio de 2016 alterou a Lei nº 9.503/1997 que instituiu o CTB e permitiu a fabricação de veículo de transporte de passageiros de até 15 metros de comprimentos na configuração de chassi 8x2.

Mesmo com toda esta evolução normativa o procedimento para avaliação estrutural das carroçarias, quanto a resistência da superestrutura, ainda é um item aplicável somente a veículos de piso único. Deixando os ônibus de piso duplo isentos de apresentar, junto ao DENATRAN, ensaios comprovando essa resistência.

Com relação aos testes a serem executados na normativa vigente, o ensaio de estabilidade (Figura 14) especifica que o veículo deverá apresentar, por meio de ensaio físico ou método de cálculo, estabilidade tal que o ponto do qual ocorre o capotamento não seja ultrapassado se a superfície em que o veículo se encontra atingir um ângulo de 28 graus, em relação a horizontal, para os dois lados. O veículo deverá estar com sua massa em ordem de marcha acrescida da massa considerada para cada passageiro.

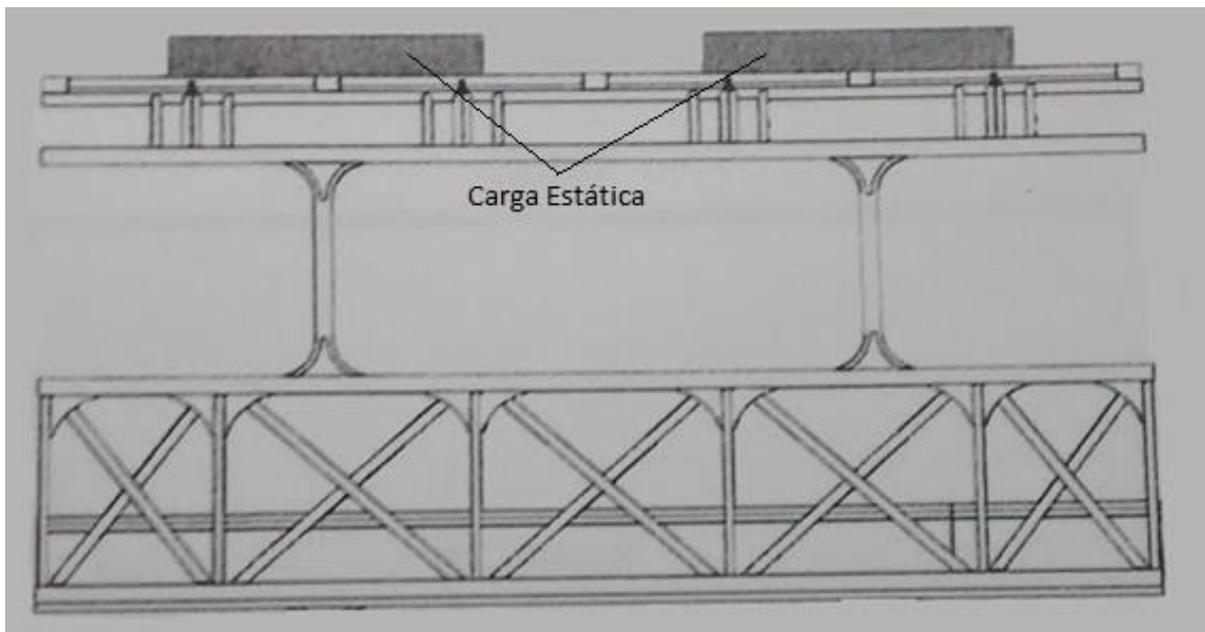
A Resolução nº 629/2016 que alterou os Anexos II e III da Resolução CONTRAN nº 445/13, exhibe em seu texto o procedimento mais claro a ser utilizado nos ensaios para homologação de ônibus de piso duplo, onde a massa a ser acrescida deverá ser inserida somente no andar superior.



Figura 14 - Ensaio de estabilidade

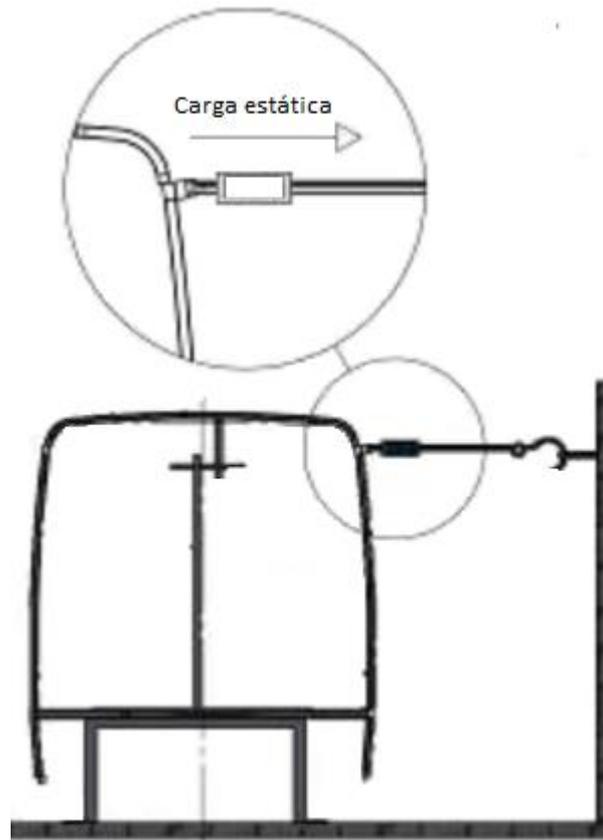
Para os ensaios de resistência estrutural frente ao capotamento, o projeto do veículo deverá garantir que a estrutura seja projetada para suportar uma carga estática sobre o teto equivalente a 50% do PBT aplicado por 5 minutos e não possuir deformações superiores a 70mm (Figura 15). Os anéis da estrutura ou pórticos devem suportar uma carga estática e horizontal correspondente a 15% do PBT aplicada por 5 minutos e não sofra deslocamento horizontal maior que 140mm (Figura 16).

Para a resistência ao impacto frontal, o veículo deverá possuir em sua frente uma chapa de aço instalada garantindo uma resistência ao impacto. No caso das disposições construtivas do veículo não permitirem esta instalação, deverá ser realizado um ensaio com pêndulo para garantir que a estrutura não possua deformações permanentes superiores a 200mm.



Fonte: Autor

Figura 15 - Ensaio resistência frente ao capotamento - Carga sobre o teto

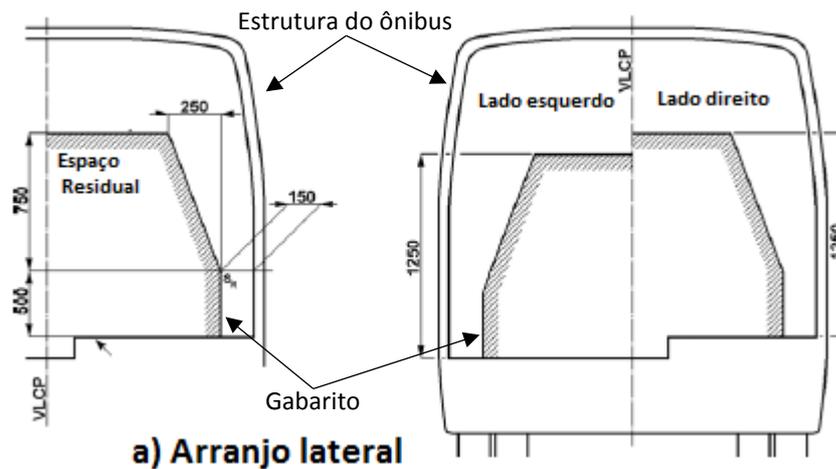


Fonte: Autor

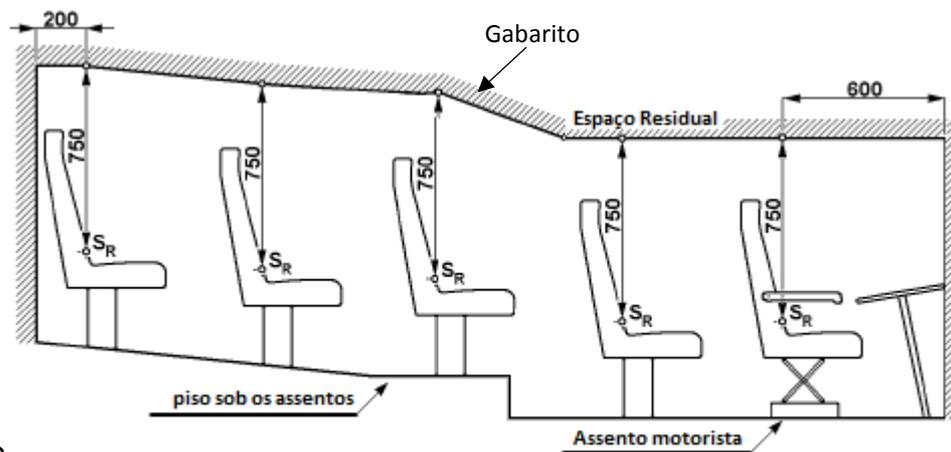
Figura 16 – Ensaio resistência frente ao capotamento – Carga Lateral

Em relação à resistência a impactos na lateral esquerda, os veículos que contém o piso dos assentos a uma distância de até 1,5m de altura deverão possuir uma travessa estrutural ou algum tipo de elemento construtivo que garanta resistência equivalente.

No ensaio da resistência da superestrutura, o veículo deverá apresentar uma resistência suficiente para garantir que nenhuma parte do veículo invada o espaço residual e nenhuma parte deste espaço sobressaia da estrutura. A Figura 17 mostra o gabarito que é fixado nas partes praticamente indeformáveis da estrutura, antes do teste, para a validação do cumprimento do requisito da não intrusão ao espaço residual. O gabarito acompanha a altura do assento e independe do nível do piso.



a) Arranjo lateral



b) Arranjo longitudinal

categorias M1 e N1 que se choquem a sua traseira.

Para detalhes sobre a realização dos testes mencionados no item 2.1.1, o leitor deverá recorrer a Resolução CONTRAN nº 445 de 2013, consolidada.

2.1.2. Legislação internacional

No cenário automotivo, as normas americanas e europeias são as mais expressivas. A forma como esses países tratam a homologação veicular é diferente do método utilizado no Brasil.

2.1.2.1. Legislação americana

Nos Estados Unidos a legislação existente para segurança de ônibus é feita para veículos de uso escolar. A normativa é bastante exigente e utiliza de requisitos que no Brasil somente são utilizados em veículos rodoviários.

A *National Highway Traffic Safety Administration* (NHTSA), órgão norte-americano que existe desde 1970, dedica-se a alcançar os mais altos padrões de

excelência em veículos e segurança nas estradas através da definição e aplicação das normas de segurança de veículos e seus equipamentos (NHTSA, 2014a).

As normas americanas aplicáveis a ônibus são a FMVSS n.º 131 (*School bus pedestrian safety devices*), FMVSS n.º 217 (*Bus emergency exits and window retention and release*), FMVSS n.º 220 (*School Bus Rollover Protection*), a FMVSS n.º 221 (*School Bus Body Joint Strength*) e a FMVSS n.º 222 (*School Bus Passenger Seating And Crash Protection*). Essas normas se referem a ônibus em especial aqueles de uso específico para o transporte de escolares e não há especificação para ônibus de piso duplo. (NHTSA, 2014b).

2.1.2.2. Legislação europeia

Na Europa há dois segmentos normativos, as diretivas e os regulamentos. As diretivas são normativas estabelecidas pelo Conselho das Comunidades Europeias conforme o tratado que instituiu a *European Economic Community* (EEC) para regularização no âmbito de países europeus e são aplicadas de forma obrigatória por todos os Estados-Membros da União Europeia. Já os regulamentos são criados pela *United Nations Economic Commission for Europe* (UNECE) para regularização no âmbito dos países contratantes do Acordo de 1958.

Atualmente as diretivas são tecnicamente equivalentes aos regulamentos da UNECE ou apenas se referem aos requisitos do regulamento correspondente, estando elas harmonizadas.

Os regulamentos europeus existentes para segurança estrutural de ônibus são o R66 - resistência da superestrutura, o R107 - homologação de veículos M2 e M3 no que tange à sua construção e R52 – Características gerais de construção de veículos pequenos da categoria M2 e M3 (UNECE, 2014a).

O regulamento ECE R107 dita os requisitos gerais para homologação no que tange a construção de veículos categoria M2 e M3, sendo incluído o ônibus de piso duplo no âmbito construção em geral. Este regulamento teve sua última atualização em 2014.

A norma brasileira para veículos de categoria M3 utiliza como base o regulamento ECE R66, de 1995. Essa versão do regulamento era aplicável somente a ônibus de piso simples com mais de 22 passageiros.

Em 2003, na reunião da WP.29 o representante da Hungria mostrou preocupações a respeito dos testes de capotamento, que não eram aplicáveis a

ônibus de piso duplo, e citou alguns acidentes graves ocorrido. Sendo então criado um grupo de trabalho para estudo do caso (GRSG, 2003).

Com as pesquisas do grupo de trabalho, foram levantadas as estatísticas em alguns países europeus. Foi constatado que a quantidade de ônibus de piso duplo é baixa e que os acidentes com este tipo de veículo não eram frequentes.

Mesmo com poucos dados estatístico, em 2008, o grupo concordou em adicionar todos os tipos de ônibus no escopo da ECE R66 (GRSG, 2008a). Para a decisão foram levados em conta:

- Baixa frota de ônibus de piso duplo.
- A gravidade dos acidentes relatados indica um maior risco aos passageiros desses veículos (risco de morte é duas vezes mais alto que em ônibus de piso simples).
- O Regulamento n.º 66 pode ajudar na proteção dos passageiro.
- A dinâmica do teste de capotamento é igual à do ônibus de piso único alto.
- Os testes de aprovação podem ser aplicados em veículo de piso duplo.
- O mecanismo de deformação é semelhante ao de piso simples.
- Deverá ser dada atenção especial ao possível aumento da altura do centro de gravidade resultante do reforço da superestrutura e uma possível mudança da estabilidade do veículo.

Em 2010 a ECE R66 teve sua atualização contemplando todos os outros tipos de veículo, inclusive o de piso duplo.

O WP.29 (*World Forum for the harmonization of vehicle regulations*) é um grupo de trabalho permanente no quadro institucional das Nações Unidas dedicado às regulamentações técnicas aplicadas ao setor automotivo abordando a segurança e desempenho ambiental dos automóveis, seus subsistemas e componentes. (UNECE, 2014b)

O WP.29 foi fundado em 1952 como órgão subsidiário à Comissão de Transporte Terrestre (ITC) da UNECE e em 2000 passou a funcionar como um fórum mundial que permite abrir discussões a respeito das regulamentações dos veículos, desenvolvimento de novos regulamentos e/ou sua harmonização. Atualmente o WP.29 administra três acordos das Nações Unidas, são eles o acordo de 1958, o de 1997 e o de 1998. (UNECE, 2014b)

O Acordo de 1958 tem como título “Acordo relativo à adoção de prescrições técnicas uniformes aplicáveis aos veículos de roda, equipamentos e peças suscetíveis de serem montadas e/ou utilizadas em veículos de rodas e às condições de reconhecimento recíproco das homologações emitidas e conformidade com essas prescrições” e contém disposições relacionadas aos aspectos de segurança e meio-ambiente para veículos, seus sistemas, partes e equipamentos. Eles incluem requisitos de testes, como também procedimentos administrativos relativos à homologação de veículos, à conformidade de produção e ao reconhecimento mútuo das homologações concedidas pelas Partes Contratantes.

O Acordo de 1998 tem como título “Acordo relativo ao Estabelecimento de Regulamentos Técnicos Globais aos veículos de rodas, equipamentos e peças suscetíveis de serem montados e/ou utilizados em um veículo de rodas” e contém requisitos de desempenho e procedimentos de testes harmonizados globalmente, fornecendo um quadro regulamentar para a indústria automotiva, os consumidores e suas associações.

Já o Acordo de 1997 tem como título “Acordo relativo à adoção de condições uniformes à Inspeção Técnica Periódica dos Veículos de Rodas e ao Reconhecimento Mútuo dessas Inspeções” e refere-se às inspeções técnicas periódicas dos veículos em circulação. As Partes Contratantes reconhecem reciprocamente (com certas condições) os certificados internacionais de inspeção concedidos de acordo com as Regras das Nações Unidas.

Como o WP.29 tem como tarefa proporcionar condições uniformes para as inspeções técnicas periódicas e reforços das relações econômicas em todo o mundo, através de regulamentos destinados a melhorar a segurança dos veículos, proteger o meio-ambiente, promover a eficiência energética e aumentar o desempenho antifurto. (UNECE, 2014b)

Para o desenvolvimento da missão, o WP.29 é formado por grupos de trabalho subsidiários que auxiliam em pesquisas, análises e desenvolvimentos de requisitos para regulamentações técnicas em cada área de expertise. Para melhor entendimento a Figura 18 apresenta o organograma do WP.29.

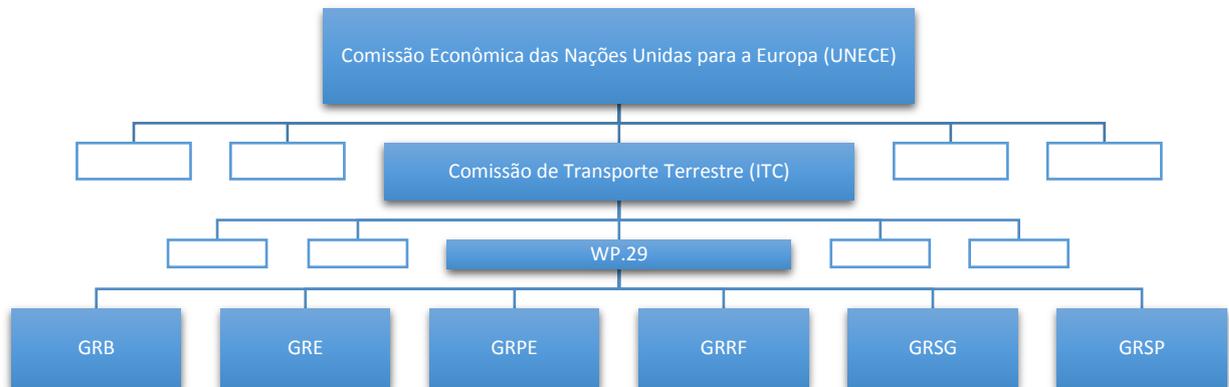


Figura 18 - Organograma do WP.29

Fonte: Autor “adaptado de” UNECE, 2017

Os grupos de trabalhos são:

- GRB – Working Party on Noise (Ruído);
- GRE – Working Party on Lighting and Light-Signalling (Iluminação e Sinalização);
- GRPE – Working Party on Pollution and Energy (Poluição e Energia);
- GRRF – Working Party on Brakes and Running Gear (Freios e sistema de Rodagem);
- GRSG – Working Party on General Safety Provision (Segurança em Geral);
- GRSP – Working Party on Passive Safety (Segurança Passiva);

O GRSG é formado por especialistas dos governos, serviços técnicos e pessoal de organismos governamentais e não-governamentais com expertises nas áreas e que realizam pesquisas e análises para desenvolvimento dos requisitos gerais de segurança. (UNECE, 2014c)

- **Superestrutura** são as partes da estrutura do veículo que contribuem para a resistência deste em caso de acidentes de capotamento. (Figura 20)

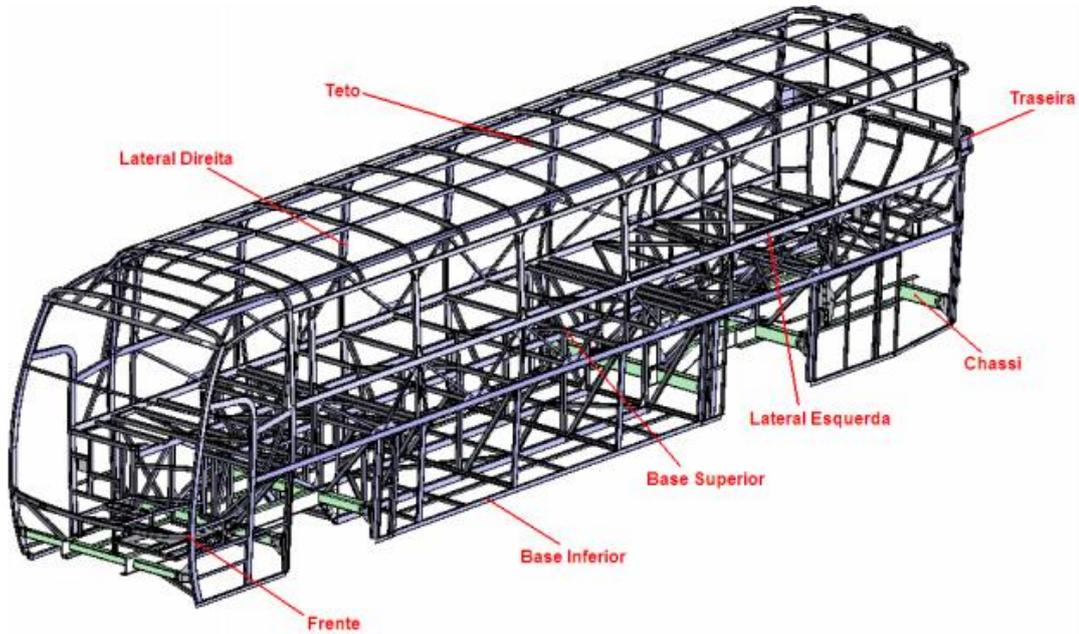


Figura 20 - Superestrutura

Fonte: TECH,T.W., 2009

- **Seção da carroceria** é uma seção que contenha pelo menos dois montantes verticais idênticos de cada lado e que seja representativa de uma ou mais partes da estrutura do veículo. (Figura 21)

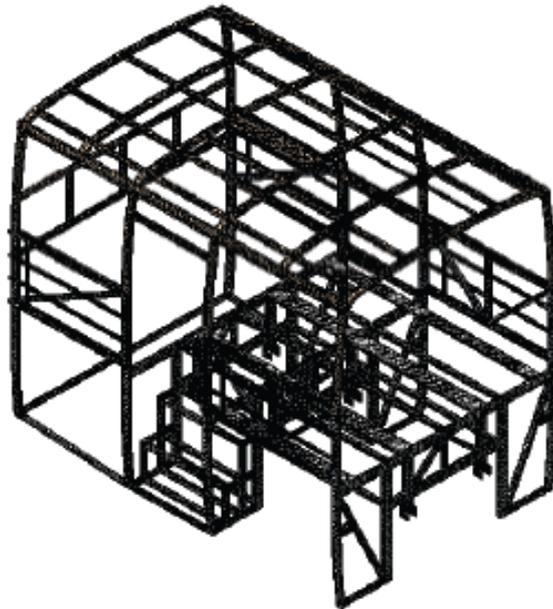


Figura 21 - Modelo de uma seção de carroceria

Fonte: NURHADI, I., 2011

- **Energia total** é a energia que se considera ser absorvida por toda a estrutura do veículo.

A Resolução CONTRAN nº 445 de 2013 vigente possibilita a realização do ensaio por quatro maneiras diferentes. Estas maneiras serão discutidas a seguir e todas deverão apresentar os seguintes requisitos e especificações: a superestrutura deve ter uma resistência suficiente para garantir que, durante e após a realização de um dos métodos de ensaio nenhuma parte do veículo que tenha sido deslocada invada o espaço residual e nenhuma parte do espaço residual sobressaia da estrutura deformada.

Para cada método apresentado é feita uma análise pela autora apresentando as limitações da aplicabilidade dos testes em ônibus de piso duplo.

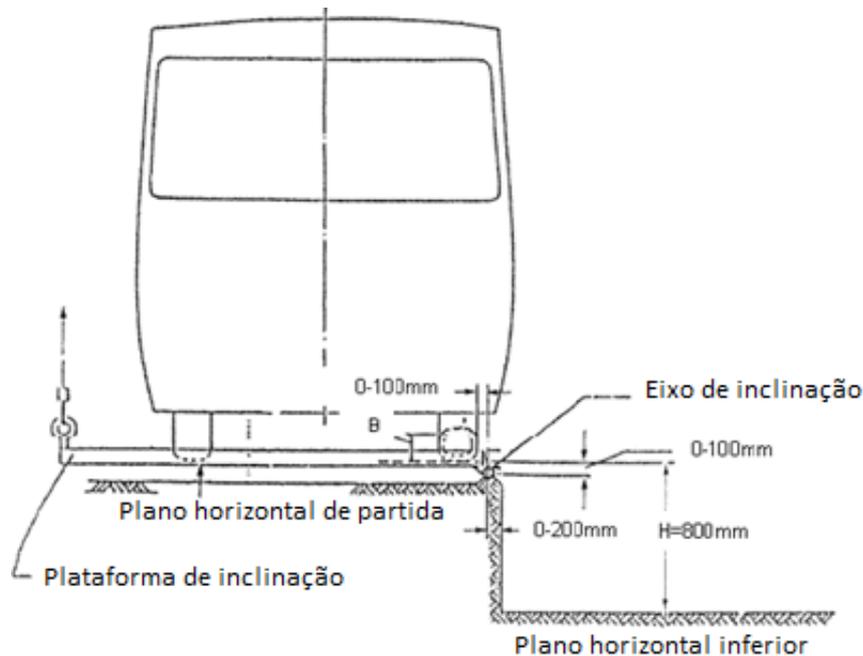
3.1. PRIMEIRO MÉTODO – CAPOTAMENTO DE UM VEÍCULO COMPLETO

O primeiro método é o ensaio de capotamento de um veículo completo. Este ensaio é totalmente destrutivo possui as seguintes condições para realização do ensaio:

- Utiliza um veículo representativo que respeite a massa do veículo, o centro de gravidade e a distribuição de carga, tendo sua estrutura completa ou não.
- Se os bancos forem reguláveis os mesmos devem ser ajustados para a posição mais vertical e mais elevada possível.
- Caso haja sistema de retenção, deverá ser considerada a massa efetiva do veículo para o ensaio.
- As portas e janelas devem permanecer fechadas.
- As áreas envidraçadas podem ou não estar com a vidraça respectiva, mas caso não sejam instaladas, as massas devem ser consideradas.
- Os pneus devem estar calibrados conforme prescrição do fabricante.
- Caso o veículo esteja equipado com sistema de suspensão pneumático, deve ser assegurada a alimentação do ar para o sistema.
- Se o veículo possuir sistema de nivelamento automático, o mesmo deve estar regulado no nível especificado pelo fabricante com o veículo posicionado em uma superfície horizontal plana.

- Os amortecedores devem funcionar normalmente.
- Os produtos combustíveis, explosivos ou corrosivos podem ser substituídos por outros produtos, desde que sejam satisfeitas as condições de massa, centro de gravidade e distribuição da massa.
- A orientação do tombamento do ensaio, direita ou esquerda, deverá ser a que for mais perigosa no que diz respeito ao espaço residual.

Neste método não é obrigatório calcular a energia total para a avaliação. O ensaio é realizado em uma plataforma a uma altura de 800 mm em relação ao solo de onde o veículo sofre o capotamento em uma zona de impacto de concreto ou outro material rígido. A Figura 22 mostra em detalhes como deve ser o posicionamento do veículo durante o ensaio.



Fonte: Resolução CONTRAN nº 445, 2013

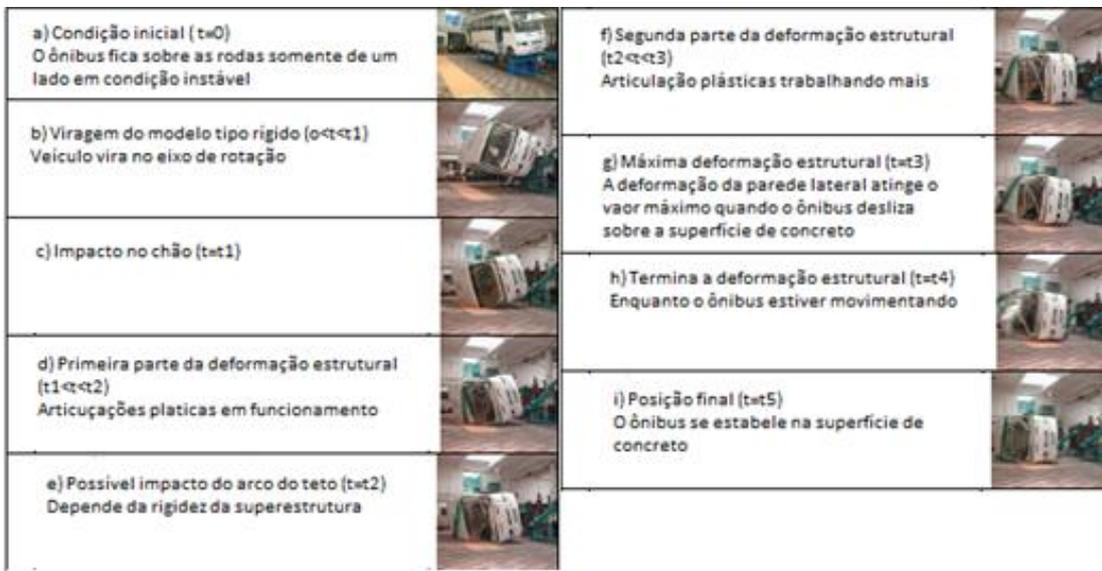
Figura 22 - Posicionamento do veículo para realização do ensaio

A Figura 23 mostra as etapas do primeiro método de ensaio, capotamento de um veículo completo. No estudo de VINCZE-PAP, 2013 também é descrita uma fórmula simplificada dos balanços de energia do processo de rolagem. A Equação 4 junto com as etapas presentes na Figura 23 ajudam a entender como deve ser realizado o teste envolvendo a tecnologia virtual que é o quarto método de teste a ser apresentado.

$$E_p = W_{ph} + W_f + W_s + W_v \quad (4)$$

Onde,

- E_p – Energia potencial inicial na posição de instabilidade;
- W_{ph} – Energia absorvida pela estrutura elástica e deformação não-elástica;
- W_f – Energia de fricção na primeira parte da deformação estrutural quando o veículo cai no chão;
- W_s – Energia absorvida pela superfície durante o contato com o solo;
- W_v – Energia restante de fricção, absorção de energia e energia cinética, após atingir a máxima deformação.



Fonte: Autor "adaptado de" VINCZE-PAP, 2013

Figura 23 - Etapas do teste de capotamento de um veículo completo

3.1.1. Limitações do método para ônibus de piso duplo

Para que se possa utilizar uma estrutura completa a fim de comprovação de atendimento do requisito do normativo é necessário que aconteça a montagem completa do veículo. Pela característica estrutural e dimensional a estrutura deste tipo de veículo costumar ter um alto valor agregado, além de necessitar um maior prazo para que seja finalizada.

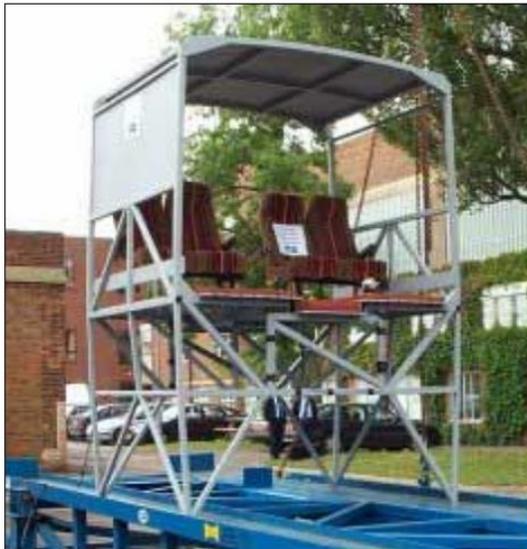
Este tipo de teste é destrutivo, sendo que o protótipo é descartado após o ensaio.

Além da estrutura o laboratório deverá possuir de área útil apropriada e equipamentos necessário para a realização do ensaio e em que o veículo é inclinado em uma vala com profundidade de 800mm.

Desta forma, este método tem como limitação tempo e quesitos econômicos.

3.2. SEGUNDO MÉTODO

O segundo método é o ensaio de capotamento de uma seção de carroceria. Neste ensaio se utiliza do mesmo método anterior se atendo ao fato de usar a proporcionalidade da massa em ordem de marcha e da energia total do veículo inteiro para a seção escolhida. É um método destrutivo, realizada com mesma plataforma do ensaio anterior, mas não é necessário utilizar a carroceria por inteiro. Obrigatoriamente é necessário saber a energia total do projeto do veículo. Para a comprovação dos requisitos, assim como no primeiro método, é utilizado de gabaritos deformáveis, fotografia ultra-rápida, dentre outros. A Figura 24 mostra uma seção da carroceria antes e depois do teste.



Fonte: Belingardi, 2003

Figura 24 – Teste de capotamento de uma seção de carroceria

3.2.1. Limitações do método para ônibus de piso duplo

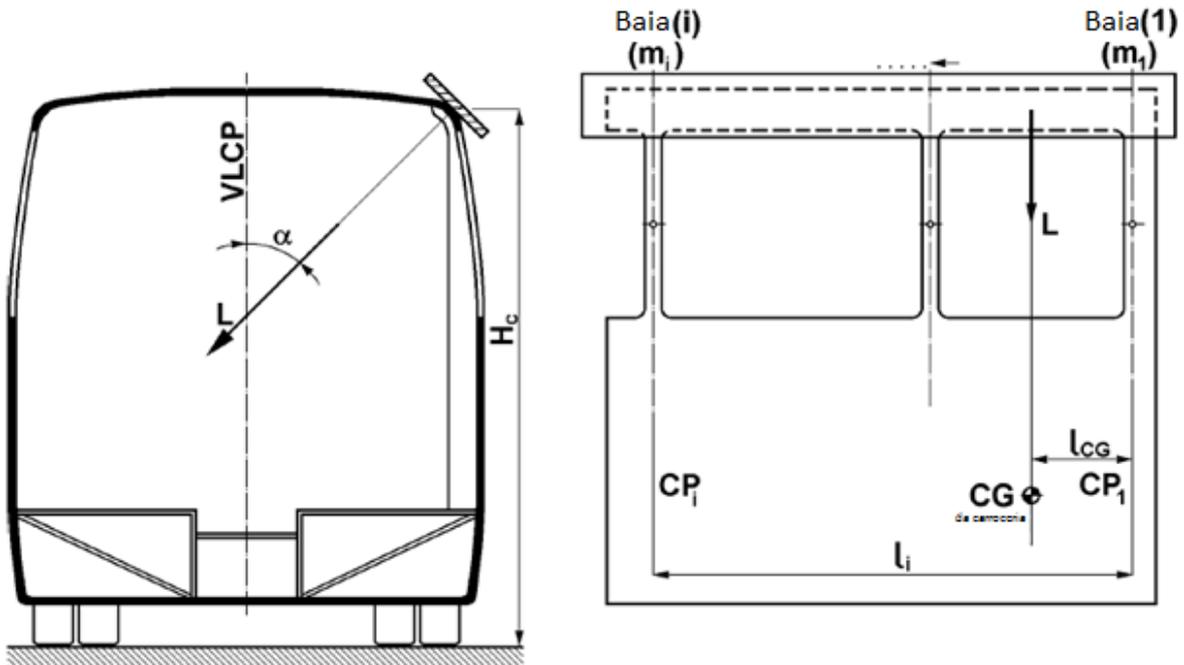
Assim como o método anterior, este também depende da montagem da estrutura e que o laboratório possua capacidade técnica para elaboração do ensaio, mas por se tratar de uma estrutura representativa, esta tem um menor custo e depende de menos tempo em comparação com a estrutura completa.

3.3. TERCEIRO MÉTODO

Já o terceiro método é o ensaio com um pêndulo de uma seção de carroceria, conforme Figura 25. A seção da carroceria tem as mesmas especificações que a do

método anterior. Neste método, ao invés de capotar o veículo de uma plataforma elevada é utilizado de um pêndulo para a aplicação da energia proporcional de impacto à seção. O pendulo deverá:

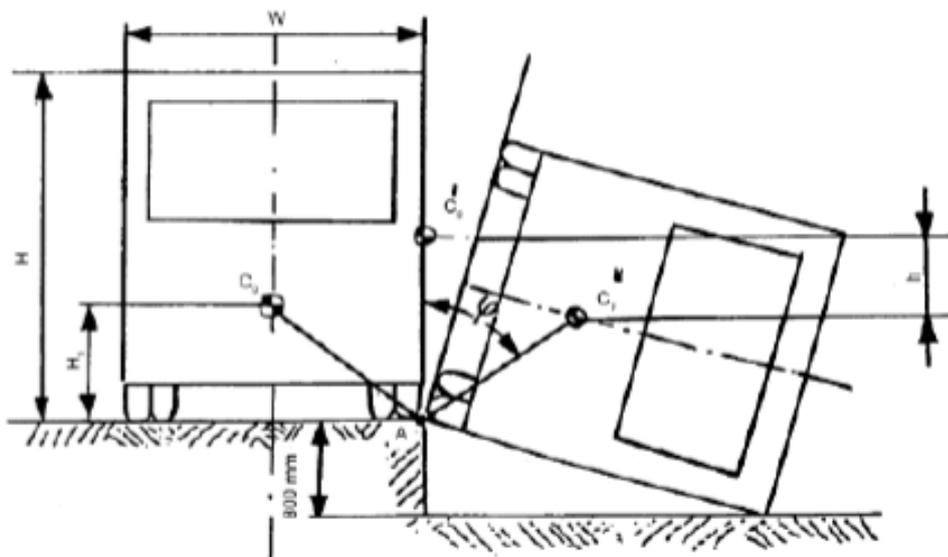
- Ser de aço com espessura de aproximadamente 20mm de espessura;
- Possuir massa uniformemente distribuída;
- Possuir uma superfície de impacto retangular e plana;
- A largura não deve ser inferior à largura da seção de carroceria ensaiada;
- A altura não deve ser inferior a 800mm;
- Os ângulos devem ser arredondados com um raio de curvatura mínimo de 15mm;
- O corpo deverá estar firmemente ligado a duas barras rígidas;
- O eixo das barras não poderá distar de mais de 3500 mm do centro geométrico do pêndulo;
- Deverá ser lançado de uma altura que lhe permita atingir a seção de carroceria com uma velocidade compreendida entre 3 e 8m/s;
- Deverá aplicar à carroceria a fração de energia apropriada;
- No momento do impacto, o ângulo (α) da direção de movimento com o plano médio vertical de orientação longitudinal da referida seção seja de 25°.



Fonte: ECE R66

Figura 25 - Teste utilizando pêndulo em uma seção de carroceria

A energia a ser transmitida pelo pêndulo é calculada através da soma das energias declaradas pelo fabricante para cada um dos arcos transversais de reforço que fazem parte da seção utilizada. Para o cálculo da energia a ser aplicada no teste, é levado em conta a massa e a altura do centro de gravidade do veículo. A Figura 26 mostra o esquema geométrico para o cálculo da energia total.



Fonte: Resolução CONTRAN nº 445, 2013

Figura 26 – Método para cálculo da energia total

Os elementos fornecidos devem satisfazer os seguintes critérios:

$$E^* = 0,75 \cdot M \cdot g \cdot h \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^m E_i > E^* \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^n E_{iF} \geq 0,4 E^* \quad (7.a)$$

$$\sum_{i=1}^p E_{iR} \geq 0,4 E^* \quad (7.b)$$

$$L_F \geq 0,4 l_f \quad (8)$$

$$L_R \geq 0,4 l_r \quad (9)$$

$$\frac{d_{m\acute{a}x}}{d_{m\acute{i}n}} \leq 2,5 \quad (10)$$

Onde:

- M – massa do veículo vazio;
- g – constante gravitacional 9,8 [m/s²];
- W – largura total do veículo;
- h – variação entre o centro de gravidade mais alto e o centro de gravidade após rolagem;
- E* - energia total;
- E_i – quantidade de energia que pode ser absorvida pelo montante i da superestrutura indicada pelo fabricante;
- E_{iF} – quantidade de energia que pode ser absorvida pelo montante i situado à frente do CG do veículo indicado pelo fabricante;
- E_{iR} – quantidade de energia que pode ser absorvida pelo montante i situado atrás do CG do veículo indicado pelo fabricante;
- d_{máx} – maior deformação medida na direção do impacto em uma das seções da estrutura da carroceria depois de absorvida a energia de impacto correspondente a indicada pelo fabricante;
- d_{mín} – menor deformação medida na direção do impacto em uma das seções da estrutura da carroceria depois de absorvida a energia de impacto

correspondente a indicada pelo fabricante;

- L_F – distância média ponderada à qual se encontram os montantes situados a frente do CG do veículo indicado pelo fabricante;
- L_R - distância média ponderada à qual se encontram os montantes situados a trás do CG do veículo indicado pelo fabricante.

As equações (8) e (9) podem ser reescritas da seguinte forma:

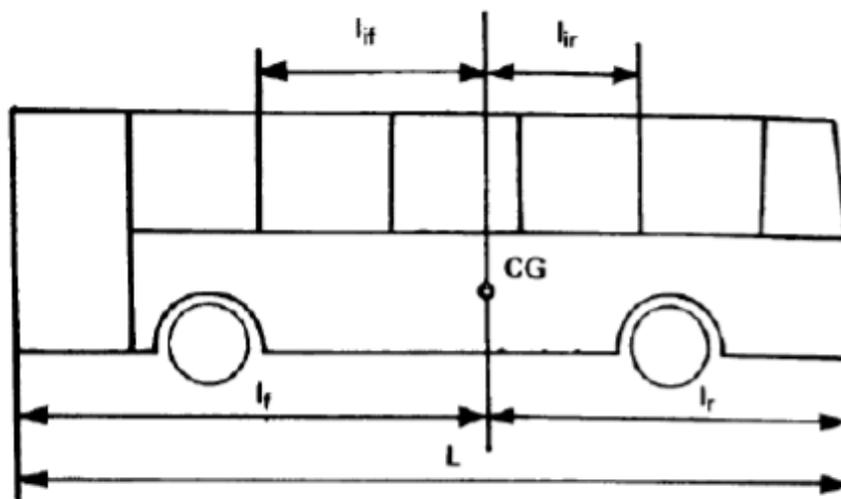
$$L_F = \frac{\sum_{i=1}^n (E_{iF} l_{if})}{\sum_{i=1}^n E_{iF}} \geq 0,4 l_f \quad (11)$$

$$L_R = \frac{\sum_{i=1}^p (E_{iR} l_{ir})}{\sum_{i=1}^p E_{iR}} \geq 0,4 l_r \quad (12)$$

Onde:

- l_{if} – distância do CG do veículo ao montante i situado à frente do CG;
- l_{ir} – distância do CG do veículo ao montante i situado para trás do CG;
- l_f – distância do CG do veículo à face dianteira do mesmo;
- l_r - distância do CG do veículo à face traseira do mesmo;

A Figura 27 mostra o sistema com as variáveis mencionadas acima.



Fonte: Resolução CONTRAN nº 445 2013

Figura 27 – modelo com variáveis das equações

3.3.1. Limitações do método para ônibus de piso duplo

Para este método, assim como os dois precedentes é necessário a montagem da estrutura do veículo, ou parte dela, e o laboratório possuir estrutura e equipamentos necessários para a realização do teste.

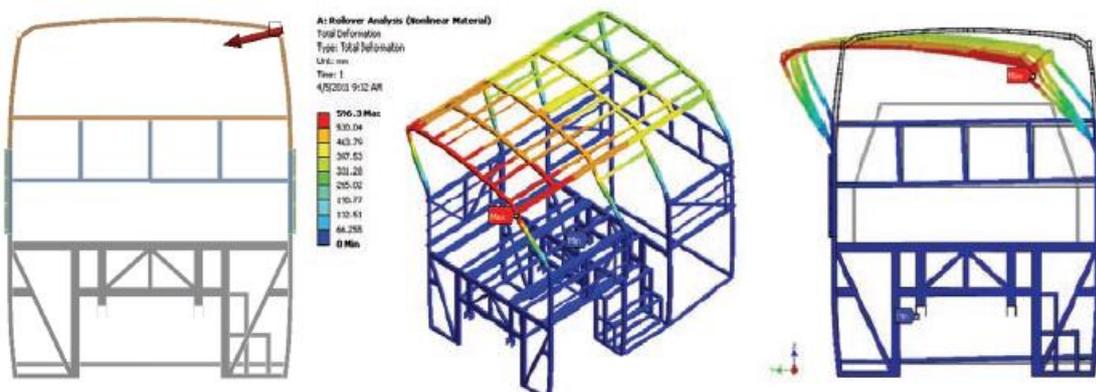
Em contra partida, para este método, não é necessário a instalação dos bancos e a estrutura a ser ensaiada é mais simples.

3.4. QUARTO MÉTODO

O quarto método é a verificação da resistência da superestrutura por aplicação de um método de cálculo o qual é respaldado por testes físicos. Para este método pode ser levado em conta uma seção ou o veículo com a estrutura completa.

Pela modernização dos softwares de assistência à engenharia, os fabricantes de carrocerias optam por criar seus modelos em um ambiente virtual através de ferramenta CAD. Uma vez que o modelo está criado, é necessário que seja feita a homologação junto ao governo. Os encarregadores optam por adaptar um teste físico proposto pela resolução para um ambiente virtual através dos softwares de elementos finitos. O modelo é então calibrado com os dados do modelo real (massa, propriedades dos materiais, propriedade geométrica, acoplamentos, etc.), é realizado o carregamento e analisado conforme os requisitos do teste escolhido.

NURHADI, 2011, utilizou em seu estudo um modelo computacional do teste de pêndulo em uma seção de carroceria (Figura 28) e uma das suas conclusões foi que este tipo de teste pode ser utilizado para determinar o elemento da superestrutura que contribui para a proteção dos ocupantes durante o capotamento.



Fonte: Adaptado de NUHADI, 2011

Figura 28 – Modelo computacional do teste de pêndulo em uma seção da carroceria

3.4.1. Limitações do método para ônibus de piso duplo

É importante esclarecer que para se utilizar um modelo virtual é necessário que se faça a validação do modelo numérico através de testes experimentais. Em seu estudo, BELINGARDI, valida o modelo com dois testes experimentais. O primeiro foi um teste de capotamento conforme ECE R66. O segundo foi um ensaio de capotagem com *dummies* dentro do veículo presos por cinto de 2 pontos.

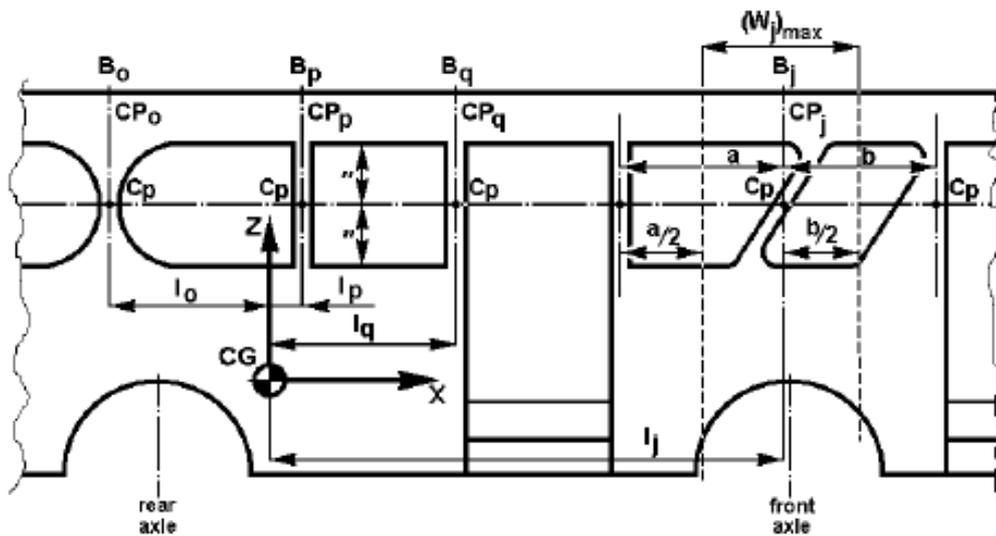
Analisando as possíveis desvantagens e limitações apresentadas pelos quatro métodos foi possível levantar que os métodos 1 e 2 que são destrutivos acarretam um investimento financeiro alto para construção da plataforma, construção da estrutura e validação do ensaio. O tempo também é uma variável em desvantagem já que é preciso seguir um cronograma.

O 4º método é um método livre ao fabricante e encarregador e não há procedimento definido para realização do ensaio.

3.5. RESISTÊNCIA DA SUPERESTRUTURA PARA ÔNIBUS DUPO PISO

Para um melhor entendimento do cálculo da resistência da superestrutura é necessário considerar que, conforme a Figura 29:

- Uma baia é definida como uma parte da superestrutura que forma um circuito fechado entre os dois planos que são perpendiculares ao plano vertical longitudinal central (VLPC) do veículo.
- Uma baia contém uma janela ou porta em cada lado do veículo, bem como elemento de parede lateral, seção da estrutura do teto, do chassi e sub-chassi.
- Cada baia tem um plano transversal central (CP) perpendicular ao plano vertical longitudinal central (VLPC) do veículo e passam pelos pontos centrais (Cp) do pilar da janela.



Fonte: ECE R66

Figura 29 - Definição de baias

A referência e a energia total absorvida durante o teste, dependem diretamente da localização longitudinal, transversal e altura do centro de gravidade do veículo (CG). Para o cálculo do CG é necessário conhecer a distribuição de carga em cada eixo e suas distâncias.

O fabricante deve indicar a quantidade de energia prevista que cada baia absorve.

A energia total a ser absorvida pela estrutura é dada pela Equação 13.

$$E_T = 0,75xMxgx\Delta h \quad (13)$$

Onde:

- M – massa do veículo considerando ocupantes;
- g – constante gravitacional;
- Δh - movimento vertical do centro de gravidade do veículo durante o teste de rolamento.

A energia total deve ser distribuída entre as baias da seção da carroceria na proporção de suas massas (Equação 14):

$$E_i = E_T \frac{m_i}{M} \quad (14)$$

Onde:

- E_i – a energia absorvida pela “i” baia;

- m_i – massa da “iⁿ” baia.

A energia mínima a ser absorvida pela seção da carroceria (E_{min}) mostrada na Equação 15 é a soma da energia de cada baia que compõe a seção da carroceria.

$$E_{min} = \sum_{i=1}^S E_i \quad (15)$$

A seção da carroceria passa no teste de carga, se (Equação 16):

$$E_{absorvida} \geq E_{min} \quad (16)$$

Nesta condição todas as baias que constituem a seção da carroceria são consideradas passadas no teste quase estático, servindo para a homologação desde que não sejam para carregar uma massa maior que a utilizada nos cálculos.

No caso quase estático, a deformação da estrutura se dá através de cargas na posição de equilíbrio e toda a energia medida e transmitida provoca deformação na estrutura.

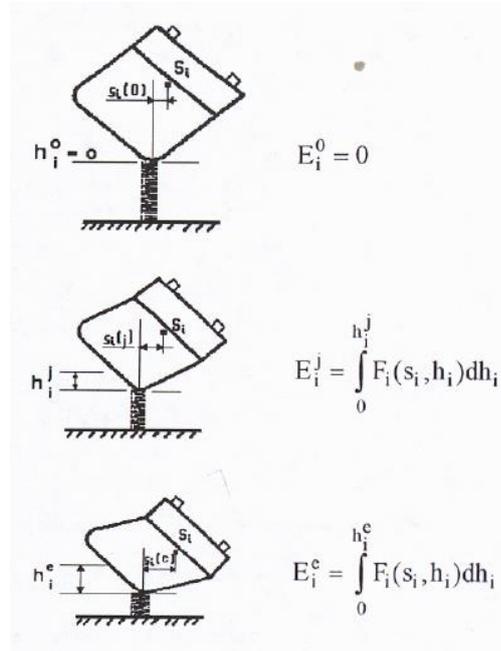
Conforme VINEZE-PAP [1998], para realização do modelo de cálculo, primeiramente é necessário escolher as os anéis representativos das baias. O modo de colisão de um segmento de uma seção transversal no teste de flexão quase estático e no ensaio de capotagem é muito similar tanto ao impacto de baixa velocidade como na posição das cargas.

Os segmentos a serem testados são duplicados para fácil controle das deformações e preparado pela encarroçadora de modo que as junções entre teto, pilar lateral e chão possuam as características reais de solda.

Cada segmento deve ser carregado na estrutura com 60 graus em relação ao VLPC da seção do veículo. As seções que serão testadas são fixadas sob o assoalho no plano de menor travessa.

Os deslocamentos são medidos na junção entre teto e pilar e acima da rótula plástica inferior do pilar lateral. Medindo os deslocamentos, a magnitude e posição da força e são obtidas.

Todo o processo de absorção de energia da rolagem pode ser simulado como um comportamento do suporte elástico não linear. As deformações dos ‘k’ pedaços da seção transversal são modeladas com ‘k’ pedaços de rigidez não linear. (Figura 30)



Fonte: VINEZE-PAP, 1998

Figura 30 - Modelamento do processo de deformação e comportamento do suporte elástico não linear

Onde:

- i – número de baias;
- k – número de planos;
- j – tempo para início da simulação de impacto [s], '0' tempo inicial e 'e' tempo total;
- h_j^i – compressão da i^{a} mola não linear em j^{a} segundos;
- E_j^i – energia absorvida no j^{a} segundo na i^{a} mola não linear;
- s_i – deslocamento horizontal do CG do i^{a} plano.

A dinâmica do veículo de piso duplo se assemelha a dinâmica dos ônibus piso simples com a posição do motorista rebaixado, conhecido com High Deck (HD) ou Piso Elevado (GRSG, 2008b). Estes veículos possuem altura semelhante. O que difere é a utilização do primeiro compartimento para carga ou passageiro.

4. CONCLUSÕES

Com este projeto de conclusão de curso foi possível conhecer a história do ônibus de piso duplo. Compreender sobre os regulamentos a respeito de segurança veicular existentes para os veículos em geral, suas aplicações, assim como suas criações e atualizações.

Os veículos de transporte coletivo de passageiro equivalem a 1,08% dos veículos homologados no Brasil. Mesmo com uma quantidade aquém da frota de automóveis, 27,53%, os dados de acidentes no Brasil são alarmantes. Diante do cenário atual, que se destaca a década de ação pela segurança do trânsito, qualquer proposta estruturada que ajude a redução de acidentes pode ser tida como válida.

O normativo de ônibus no Brasil ainda está defasado quando comparado com os normativos internacionais. É necessário que seja feita atualizações no normativo para aumentar a segurança deste tipo de veículo.

Algumas carroçadoras brasileira já produzem veículo para o mercado internacional e atendem ao normativo do país importador, que geralmente é o normativo da ECE devido ao WP.29.

A estrutura de veículo de piso duplo se assemelha com a estrutura do ônibus piso simples, com piso dos passageiros elevados e o com a posição do motorista rebaixado, *High Deck*, o que difere é a utilização do primeiro compartimento para passageiro ou carga respectivamente. Os ônibus de piso elevado devem apresentar todos os ensaios conforme a Resolução, não sendo isentos de apresentar nenhum. Sendo assim, não há motivos para o ônibus de piso duplo não ser contemplado na Resolução.

Diante dos fatos, é proposto no Anexo IV minuta de Resolução para alteração dos anexos de avaliação estrutural da Resolução atual, baseado no Regulamento Técnico ECE R66.

4.1. TRABALHOS FUTUROS

Para trabalhos futuro, sugere-se realizar uma análise mais criteriosa da Resolução CONTRAN nº 445/2013, avaliando se o ensaios propostos são os mais

recomendados para definir a resistência mecânica da estrutura e avaliar as chances de sobrevivência em caso de acidentes.

Avaliar a necessidade a aplicabilidade dos testes mais criteriosos em todos as aplicações do veículo M3 (urbano, rodoviário, escolar e particular).

Comparar os critérios da norma americana e europeia com a realidade do transporte e estradas brasileiras.

Análise computacional e validação de um modelo real de ônibus de piso duplo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT (1989) NBR 10697 – Pesquisa de acidentes de trânsito - Terminologia. Associação de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.
- ABNT (2006) NBR 13773 – Veículos rodoviários automotores, seus rebocados e combinados – Classificação. Associação de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.
- ANTT, 2014a. Agência Nacional de Transportes Terrestres, *FALE CONOSCO – Cadastrar protocolo*. Disponível em: <<http://200.252.99.197/WebVastiAntt/Cadastro/Mensagem.aspx>>. Acesso em 1 de setembro de 2014.
- ANTT, 2014a. Agência Nacional de Transportes Terrestres, *Passageiros Rodoviário*. Disponível em: <<http://www.antt.gov.br/index.php/content/view/4740/Rodoviario.html>>. Acesso em 10 de setembro de 2014.
- Belingardi, G., Gastaldin, D., Mertella, P., Peroni, L., 2003, “*Multibody analysis of M3 bus rollover: structural behavior and passenger injury risk*”, 18th *International Technical Conference on Enhanced Safety of Vehicles (ESV)*, Paper No. 288, Nagoya, Japan.
- BRASIL. Lei n.º 9.503, de 23 de setembro de 1997. Institui o Código de Trânsito Brasileiro (CTB). Disponível em: <<http://www.denatran.gov.br/ctb.htm>>. Acesso em 13 de agosto de 2014.
- Comil, 2012. Empresa encarregadora de ônibus. *Lançamentos*. Disponível em: <<http://www.comilonibus.com.br/site/novidades/detalhe/categoria-lancamentos/novidade-comil-lanca-seu-primeiro-double-decker>>. Acesso em 03 de outubro de 2014.
- Comil, 2014. Empresa encarregadora de ônibus. *Rodoviários*. Disponível em: <<http://www.comilonibus.com.br/site/arquivo/produto/detalhe/150a52a9ad6167294b0f21ff872c2ecd.jpg>>. Acesso em 02 de outubro de 2014.
- DENATRAN, 2017a. Departamento Nacional de Trânsito, *Frota 2016*. Disponível em: <<http://www.denatran.gov.br/frota2014.htm>>. Acesso em 05 de junho de 2017.
- DENATRAN, 2014b. Departamento Nacional de Trânsito, *Frota*. Disponível em: <<http://www.denatran.gov.br/frota.htm>>. Acesso em 15 de setembro de 2014.
- DENATRAN, 2014c. Departamento Nacional de Trânsito. *Solicitação por e-mail*. Disponível em: <http://www.denatran.gov.br/coordenacoes/cgit/cgit_main.htm>. Acesso em: 7 de outubro de 2014.
- DENATRAN, 2014d. Departamento Nacional de Trânsito. *Câmaras temáticas*. Disponível em: <http://www.denatran.gov.br/ct/camaras_tematicas.htm>. Acesso em 23 de setembro de 2014.
- E&T, 2010. *Engineering and Technology Magazine. Millbrook proving ground*. Disponível em: <<http://eandt.theiet.org/magazine/2010/06/millbrook.cfm>>. Acesso em 27 de janeiro de 2015.

- G1 Centro-Oeste, 2014. Portal de notícia da Globo. *Notícia*. Disponível em: <<http://g1.globo.com/mg/centro-oeste/noticia/2014/05/nao-acredito-que-estou-viva-diz-sobrevivente-de-acidente-na-br-262.html>>. Acesso em 30 de setembro de 2014.
- G1 Pernambuco, 2014. Portal de notícias da Globo. *Notícia*. Disponível em: <<http://g1.globo.com/pernambuco/noticia/2014/01/com-3-integrantes-internados-apos-acidente-raca-negra-cancela-shows.html>>. Acesso em 30 de setembro de 2013.
- G1 São Paulo, 2013. Portal de notícias da Globo. *Fotos*. Disponível em: <<http://g1.globo.com/sao-paulo/fotos/2013/12/fotos-acidente-com-onibus-na-regis-bittencourt.html#F1050825>>. Acesso em 30 de setembro de 2014.
- Gillespie, T. D., 1992. "Fundamentals of Vehicle Dynamic", Society of Automotive Engineers, Warrendale, PA.
- GRSG, 2003. *Working Party on General Safety. Agendas*. Disponível em: <<http://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/doc/2004/wp29grsg/TRANS-WP29-GRSG-86-inf08e.pdf>>. Acesso em 2 de setembro de 2014.
- GRSG, 2008a e 2008b. *Working Party on General Safety. Agendas*. Disponível em: <<http://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/doc/2008/wp29grsg/GRSG-95-08e.pdf>>. Acesso em 2 de setembro de 2014.
- HAC, A., *Rollover Stability Index Including Effects of Suspension Design*. SAE, 2002, World Congress, Detroit, Michigan.
- LTM, 2014a. *London Transport Museum. Collection*. Disponível em: <<http://www.ltmcollection.org/vehicles/type/type.html?IXtype=100>>. Acesso em 2 de outubro de 2014.
- LTM, 2014b. *London Transport Museum. Photograph*. Disponível em: <http://www.ltmcollection.org/photos/photo/photo.html?design=abc&IXtoptheme=Buses&IXrefine=B-type&IXsummary=themes/theme_sub&IXSR_=zbPoll6o7ai&IXMAXHITS_=1&IXFIRST_=4>. Acesso em 2 de outubro de 2014.
- Marcopolo, 2014. Empresa encarregadora de ônibus. *Memória Marcopolo*. Disponível em: <[http://www.marcopolo.com.br/marcopolo_sa/pt/marcopolo/memoria/detalhes#!prettyPhoto\[gallery6\]/2/](http://www.marcopolo.com.br/marcopolo_sa/pt/marcopolo/memoria/detalhes#!prettyPhoto[gallery6]/2/)>. Acesso em 02 de outubro de 2014.
- NewYork, 2014. Tours. Disponível em: <http://www.newyork.com/tours/land-and-sea-tour-gray-line-new-york/images/carousel_644.jpg>. Acesso em 05 de novembro de 2014.
- NHTSA, 2014a. National Highway Traffic Safety Administration. About. Disponível em: <<http://www.nhtsa.gov/About>>. Acesso em: 2 de setembro de 2014.
- NHTSA, 2014a. National Highway Traffic Safety Administration. Laws and Regulations. Disponível em: <<http://www.nhtsa.gov/Laws+&&Regulations/Vehicles>>. Acesso em 2 de setembro de 2014.

NICOLLAZZI, L.; LEAL, L.; ROSA, E. 2007. Introdução à Teoria de Veículos. Florianópolis: 2007.

NORONHA, E. Comportamento dinâmico de modelo de ônibus sob manobra direcional. 2012. 30 f.. (Dissertação Graduação em Engenharia Mecânica) – Departamento de engenharia mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

NURHADI, I., ZAIN, R., MIHRADI, S., *COMPUTER MODELING OF ENERGY ABSORBING CAPABILITY OF BUS SUPERSTRUCTURE FOR ROLLOVER SAFETY. Journal of KONES*, 2011, Vol. 18 ,No. 2, pp. 331-338, 2011, Warsaw, Poland 2011.

Ônibus paraibanos, 2012. Portal de notícia. *A Thamco e suas origens*. Disponível em: <http://www.onibusparaibanos.com/2012/09/a-thamco-e-suas-origens_16.html>. Acesso em: 02 de outubro de 2014.

PEREIRA. D., Avaliação da dinâmica lateral de veículos comerciais equipados com multieixos esterçantes. 2010. 150 f.. (Dissertação Mestrado em Engenharia Mecânica) – Centro Universitário da FEI, São Bernardo do Campo, 2010.

Resolução CONTRAN n.º 210 de 13 de novembro de 2006. Disponível em: <<http://www.denatran.gov.br/download/Consolidadas/cons210.pdf>>. Acesso em: 05 de outubro de 2014.

Resolução CONTRAN n.º 316 de 08 de maio de 2009. Disponível em: <http://www.denatran.gov.br/download/Resolucoes/RESOLUCAO_CONTRAN_316_09.pdf>. Acesso em 13 de agosto de 2014.

Resolução CONTRAN n.º 416 de 09 de agosto de 2012. Disponível em: <<http://www.denatran.gov.br/download/Resolucoes/Resolu%C3%A7%C3%A3o%20416-12.pdf>>. Acesso em 13 de agosto de 2014.

Resolução CONTRAN n.º 445 de 25 de junho de 2013. Disponível em: <<http://www.denatran.gov.br/download/Resolucoes/Resolucao4452013.pdf>>. Acesso em 13 de agosto de 2014.

Resolução CONTRAN n.º 811 de 1996. Disponível em: <<http://www.denatran.gov.br/resolucoes.htm>>. Acesso em 13 de agosto de 2014.

RILL, G., Vehicles Dynamics. FACHHOCHSCHULE REGENSBURG - UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES - HOCHSCHULE FÜR TECHNIK WIRTSCHAFT SOZIALES. 2005, Alemanha.

Transport for London, 2014. New Bus for London. Disponível em: <http://www.google.com.br/url?sa=i&source=images&cd=&cad=rja&uact=8&ved=0CAgQjRw4Cw&url=http%3A%2F%2Ffl.gov.uk%2Fmodes%2Fbuses%2Fnew-bus-for-london&ei=ddJqVIXPHIqiNobrg_gN&psig=AFQjCNHvUkjwsvWCjAds6sf1cQvQd7nK3A&ust=1416373237524232>. Acesso em 05 de outubro de 2014.

- TECH, T.W., Proposta de Metodologia para Otimização Estrutural de um Ônibus em Condições de Tombamento. 2009. 191 f.. (Dissertação Mestrado em Engenharia Mecânica) – Escola de Engenharia da Universidade do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.
- UNECE, 2014a. *United Nations Economic Commission for Europe. Rules updates*. Disponível em: <<http://www.unece.org/transport/areas-of-work/vehicle-regulations/latest-regulations-rules-updates.html>>. Acesso em 2 de setembro de 2014.
- UNECE, 2014b. United Nations Economic Commission for Europe. WP.29. Disponível em: <http://www.unece.org/trans/main/wp29/meeting_docs_wp29.html>. Acesso em 6 de setembro de 2014.
- UNECE, 2014c. *United Nations Economic Commission for Europe. GRSG*. Disponível em: <http://www.unece.org/trans/main/wp29/meeting_docs_grsg.html>. Acesso em 6 de setembro de 2014.
- UNECE, 2017. *United Nations Economic Commission for Europe. FAQ*. Disponível em: <<http://www.unece.org/trans/main/wp29/faq.html>>. Acesso em 2 de maio de 2017.
- VEJA, 2013. Revista da editora abril, conteúdo eletrônico. *Estradas*. Disponível em: <<http://veja.abril.com.br/noticia/brasil/quinze-pessoas-morreram-no-acidente-na-regis-motorista-respondera-por-homicidio-culposo>>. Acesso em: 30 de setembro de 2014.
- VINCZE-PAP, S.. *EUROPEAN TEST METHODS FOR SUPERSTRUCTURE OF BUSES AND COACHES RELATED TO ECE R66 (THE APPLIED HUNGARIAN CALCULATION METHOD)*, *The 16th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles (ESV)*, Paper Number. 98-S4-P-18, 1998.
- VINCZE-PAP, S., CSISZÁR, A.. *Applied Virtual Technology (VT) on Bus Superstructure Roll-Over Tests*. “*Design, Fabrication and Economy of Metal Structure*”. *Spring Berlin Heidelberg*, 2013, pp. 551-560.

ANEXOS

		Pág.
Anexo I	Tabela quantitativo por tipo de acidente	57
Anexo II	Tabela quantitativo acidentes por ano	63
Anexo III	Tabela Quantidade de Veículos	64
Anexo IV	Minuta de Resolução	65

ANEXO I: Tabela

Tipo	Descrição tipo acidente	Qty de acidentes			Qty de ferido leve			Qty feridos grave			Qty de mortes		
		2012	2013	2014	2012	2013	2014	2012	2013	2014	2012	2013	2014
AUTOMÓVEL	Atropelamento de animal	1906	1921	1172	525	441	336	154	115	71	27	22	14
	Atropelamento de pessoas	1961	1806	1352	819	774	511	848	738	589	530	523	378
	Capotamento	6218	5948	4186	4757	4655	3175	1184	1090	813	219	228	141
	Colisão com bicicletas	711	659	455	39	25	16	2	6	2	4	2	0
	Colisão com objeto fixo	6723	6455	4547	2116	2069	1537	536	505	367	119	104	82
	Colisão com objeto móvel	991	1010	649	110	94	92	38	29	18	7	10	6
	Colisão frontal	4706	4995	3853	3337	3602	2719	2634	2656	1981	1454	1492	1170
	Colisão lateral	22664	23106	16095	2952	2875	2354	760	710	589	210	178	120
	Colisão transversal	14038	14128	10716	4339	4341	3454	1288	1231	985	347	388	280
	Colisão traseira	43034	43390	30173	6172	6485	4788	965	942	764	168	169	141
	Danos eventuais	425	422	260	24	15	16	5	2	4	0	1	0
	Derramamento de carga	115	95	73	14	1	12	1	1	4	0	0	0
	Incêndio	259	250	194	14	16	8	2	5	7	0	2	3
	Queda de veículo	248	246	172	19	17	15	3	2	8	0	2	1
	Saída da pista	14740	16392	11567	7648	8057	6104	1993	2064	1491	458	477	340
	Tombamento	557	569	355	213	200	112	27	37	25	4	10	5
BICICLETA	Atropelamento de animal	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Atropelamento de pessoas	10	15	7	10	12	4	6	8	7	0	5	1
	Capotamento	4	1		1	5	0	1	0	0	0	0	0
	Colisão com bicicletas	1695	1559	1068	800	772	514	612	549	380	264	214	167
	Colisão com objeto fixo	10	6	3	3	2	1	3	1	1	1	0	0
	Colisão com objeto móvel	12	15	14	5	9	3	3	3	7	4	3	3
	Colisão frontal	95	83	69	55	43	41	34	26	19	16	9	9
	Colisão lateral	188	183	102	118	115	65	40	42	19	19	10	9
	Colisão transversal	406	354	250	222	191	132	131	111	90	37	19	21
	Colisão traseira	158	119	78	73	69	36	52	36	25	23	9	14
	Danos eventuais	0	0	3	0	0	1	0	0	0	0	0	1
	Derramamento de carga	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0
	Incêndio	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Queda de veículo	114	85	80	64	53	54	49	22	28	2	7	2
	Saída da pista	4	6	4	2	3	2	1	0	2	0	0	0
	Tombamento	13	9	6	7	3	3	4	4	1	1	1	0
CAMINHÃO	Atropelamento de animal	467	451	246	24	36	15	4	12	5	4	2	5
	Atropelamento de pessoas	376	349	270	106	81	54	144	134	111	155	161	120
	Capotamento	489	449	329	228	192	133	121	89	77	89	50	37
	Colisão com bicicletas	140	123	105	3	5	0	0	1	1	0	0	0
	Colisão com objeto fixo	1204	1103	727	133	132	127	57	42	28	20	10	11
	Colisão com objeto móvel	408	409	256	22	15	5	3	4	4	0	1	0
	Colisão frontal	1474	1556	1120	303	319	251	149	157	109	99	101	60
	Colisão lateral	8653	8633	5862	292	313	226	92	82	71	47	31	27
	Colisão transversal	2768	2819	2028	159	184	136	56	61	28	29	11	10
	Colisão traseira	11822	11817	7936	671	684	500	285	250	234	89	86	59
	Danos eventuais	237	248	144	2	10	1	3	2	3	0	1	2
	Derramamento de carga	258	259	199	9	7	6	0	5	1	0	2	1
	Incêndio	107	99	75	4	1	6	3	0	2	0	2	0
	Queda de veículo	99	111	87	7	6	0	2	8	2	4	3	2
	Saída da pista	2845	3002	2105	813	828	595	221	217	143	97	99	67
	Tombamento	1912	1830	1377	691	636	491	108	107	97	33	30	15
CAMINHÃO - TRATOR	Atropelamento de animal	390	411	249	16	13	6	5	1	4	2	4	0
	Atropelamento de pessoas	255	231	174	63	41	41	95	88	76	115	115	69
	Capotamento	309	276	207	103	75	58	45	28	27	29	27	15
	Colisão com bicicletas	104	92	72	0	0	2	0	0	0	1	0	0
CAMINHÃO - TRATOR	Colisão com objeto fixo	1382	1234	826	120	123	96	28	32	27	8	8	9
	Colisão com objeto móvel	473	453	306	11	11	9	5	3	5	3	1	1
	Colisão frontal	1408	1579	1259	235	275	195	110	135	104	76	107	66
	Colisão lateral	11124	11534	7709	286	293	192	85	78	47	43	28	22
	Colisão transversal	2244	2473	1839	92	100	71	32	36	16	6	14	3
	Colisão traseira	8786	9313	6110	355	354	231	126	107	79	34	16	20
	Danos eventuais	459	421	278	11	13	5	0	4	5	0	0	0
	Derramamento de carga	758	713	507	17	16	4	4	7	5	0	1	0
	Incêndio	321	357	278	18	15	13	5	5	4	3	1	1

Tipo	Descrição tipo acidente	Qtd de acidentes			Qtd de ferido leve			Qtd feridos grave			Qtd de mortes		
		2012	2013	2014	2012	2013	2014	2012	2013	2014	2012	2013	2014
C-TRATOR	Queda de veículo	104	87	73	2	1	1	5	1	3	1	0	0
	Saída da pista	3171	3582	2431	729	820	581	186	214	141	82	84	57
	Tombamento	3473	3449	2819	1450	1428	1081	338	310	240	105	68	78
CAMINHONETE	Atropelamento de animal	558	470	322	58	69	46	18	11	9	3	7	4
	Atropelamento de pessoas	284	309	249	89	119	79	112	126	105	106	99	82
	Capotamento	1119	1085	747	688	680	482	181	219	142	45	47	30
	Colisão com bicicletas	120	107	88	5	3	5	2	0	0	0	0	0
	Colisão com objeto fixo	910	909	588	221	223	156	67	45	45	13	17	10
	Colisão com objeto móvel	214	215	156	15	24	15	5	4	3	2	1	0
	Colisão frontal	1046	1089	907	478	460	400	298	307	234	177	176	144
	Colisão lateral	3707	3902	2833	426	385	294	100	122	78	43	32	30
	Colisão transversal	2919	2996	2374	506	502	434	141	157	112	55	37	35
	Colisão traseira	10037	10824	7842	660	725	522	154	143	116	34	42	22
	Danos eventuais	96	83	59	9	4	2	0	2	4	0	1	0
	Derramamento de carga	38	20	28	1	0	2	0	2	0	0	0	0
	Incêndio	33	52	26	1	4	0	1	1	0	0	0	0
	Queda de veículo	39	39	32	4	4	3	0	0	2	0	0	1
	Saída da pista	2595	2981	2188	1130	1350	1019	272	331	238	72	89	85
	Tombamento	421	361	291	136	132	105	6	19	11	1	5	6
CAMIONETA	Atropelamento de animal	146	148	98	26	37	11	6	8	4	2	1	1
	Atropelamento de pessoas	123	110	76	33	36	23	49	43	22	49	42	31
	Capotamento	346	326	224	225	288	176	82	59	37	14	16	9
	Colisão com bicicletas	48	44	21	3	7	0	0	2	0	0	0	0
	Colisão com objeto fixo	358	337	247	118	111	64	29	38	15	2	15	3
	Colisão com objeto móvel	84	91	56	2	4	6	0	2	6	0	1	2
	Colisão frontal	423	452	332	189	232	170	150	144	119	65	80	49
	Colisão lateral	1622	1545	1067	178	182	139	63	49	45	13	12	7
	Colisão transversal	1252	1197	883	292	312	169	49	77	32	19	20	9
	Colisão traseira	4321	4355	3207	365	390	279	63	75	40	11	12	7
	Danos eventuais	44	40	27	3	2	0	1	1	0	0	0	0
	Derramamento de carga	12	8	6	1	2	0	0	0	0	0	0	0
	Incêndio	76	75	55	5	3	0	0	1	0	0	0	0
	Queda de veículo	18	11	12	4	0	2	1	2	0	0	0	1
	Saída da pista	807	877	639	410	466	323	116	108	77	26	37	19
	Tombamento	107	69	61	82	38	28	15	3	3	1	0	1
CARROÇA	Atropelamento de animal	2	1	2	1	0	1	0	0	1	0	0	0
	Atropelamento de pessoas	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1
	Capotamento	1	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0
	Colisão com bicicletas	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0
	Colisão com objeto fixo	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Colisão com objeto móvel	6	6	9	3	3	1	4	4	2	1	0	2
	Colisão frontal	7	7	10	1	5	4	5	4	3	1	4	1
	Colisão lateral	14	18	7	5	4	1	2	1	4	0	1	0
	Colisão transversal	35	36	21	12	13	11	7	5	4	2	3	1
	Colisão traseira	44	38	31	38	25	26	10	14	8	2	2	7
	Danos eventuais	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Queda de veículo	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
	Saída de pista	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Tombamento	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0
CICLOMOTOR	Atropelamento de animal	5	2	4	6	1	2	0	1	3	0	0	0
	Atropelamento de pessoas	17	17	31	18	16	38	11	12	13	0	0	2
	Capotamento	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	Colisão com bicicletas	1	10	6	0	7	2	0	4	3	0	0	0
	Colisão com objeto fixo	8	10	10	2	3	6	4	3	7	2	0	0
	Colisão com objeto móvel	8	5	1	4	2	1	2	3	0	1	0	0
	Colisão frontal	36	47	48	13	24	14	19	23	25	6	8	15
	Colisão lateral	104	144	136	78	110	101	22	38	41	5	2	6
	Colisão transversal	140	200	183	89	120	114	47	69	53	7	8	14
	Colisão traseira	103	132	113	58	74	77	33	30	44	13	8	4
	Danos eventuais	1	2	0	1	2	0	0	1	0	0	0	0
	Queda de veículo	62	114	83	47	105	72	18	24	24	3	2	2
	Saída da pista	7	9	7	3	1	6	1	6	3	0	1	0
	Tombamento	0	7	5	0	9	2	0	1	3	0	0	1
MICRO ÔNIBUS	Atropelamento de animal	65	55	30	40	20	5	5	6	0	3	1	0
	Atropelamento de pessoas	35	38	22	16	9	5	16	13	11	9	16	7

	Capotamento	41	35	18	88	66	32	34	32	19	1	8	11
Tipo	Descrição tipo acidente	Qtd de acidentes			Qtd de ferido leve			Qtd feridos grave			Qtd de mortes		
		2012	2013	2014	2012	2013	2014	2012	2013	2014	2012	2013	2014
MICROÔNIBUS	Colisão com bicicletas	13	20	6	1	0	0	1	0	0	0	0	0
	Colisão com objeto fixo	63	51	27	25	51	32	4	3	17	1	0	1
	Colisão com objeto móvel	23	28	16	3	13	12	8	1	0	2	0	0
	Colisão frontal	112	99	71	206	78	57	81	65	37	54	35	16
	Colisão lateral	417	431	297	66	74	74	23	27	15	8	7	5
	Colisão transversal	290	239	195	158	91	69	62	25	11	8	2	1
	Colisão traseira	992	947	634	196	177	181	38	34	28	17	14	9
	Danos eventuais	10	14	6	0	9	0	0	0	0	0	1	0
	Derramamento de carga	1	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Incêndio	11	7	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	Queda de veículo	7	5	5	3	0	0	1	0	0	0	0	0
	Saída da pista	127	118	111	187	219	136	69	40	19	8	5	1
	Tombamento	53	44	26	66	68	26	22	21	2	0	11	0
MOTOCICLETA	Atropelamento de animal	687	593	370	493	479	276	303	207	135	61	55	39
	Atropelamento de pessoas	1003	985	740	967	949	767	720	672	463	117	97	88
	Capotamento	32	30	25	15	14	10	5	7	7	1	3	0
	Colisão com bicicletas	395	343	200	240	206	129	77	70	34	9	6	3
	Colisão com objeto fixo	657	561	422	363	308	222	262	239	186	81	76	63
	Colisão com objeto móvel	200	168	135	114	104	81	64	58	42	15	18	12
	Colisão frontal	1662	1610	1281	566	567	376	877	767	650	645	594	542
	Colisão lateral	5590	5639	4060	3980	3976	2839	1461	1556	1121	239	241	189
	Colisão transversal	6144	5997	4613	4057	3839	3067	2391	2272	1717	294	288	206
	Colisão traseira	7063	7066	5141	4566	4556	3503	1808	1684	1305	273	303	210
	Danos eventuais	39	32	32	18	18	23	7	4	7	2	0	0
	Derramamento de carga	10	11	13	4	8	11	3	3	2	0	0	0
	Incêndio	7	4	7	1	3	4	1	0	4	0	0	1
	Queda de veículo	5101	4899	3752	4258	4070	3226	1471	1421	1079	220	203	138
	Saída da pista	813	836	595	485	533	346	311	308	233	84	91	57
	Tombamento	868	782	540	764	714	476	217	158	121	23	16	15
MOTONETA	Atropelamento de animal	35	38	26	31	30	23	9	12	10	2	6	2
	Atropelamento de pessoas	57	58	55	67	67	65	27	35	34	3	6	2
	Capotamento	4	1	1	2	0	0	2	1	1	0	1	0
	Colisão com bicicletas	21	21	18	22	12	14	0	5	1	0	0	0
	Colisão com objeto fixo	46	47	28	29	31	13	13	15	12	8	2	6
	Colisão com objeto móvel	29	15	18	20	9	12	8	2	2	1	1	8
	Colisão frontal	170	145	116	71	53	49	79	71	54	50	40	30
	Colisão lateral	610	611	425	444	459	305	146	145	111	12	16	9
	Colisão transversal	761	759	580	525	517	402	255	245	147	25	26	26
	Colisão traseira	612	636	479	419	444	320	153	138	118	25	17	18
MOTONETA	Danos eventuais	3	3	1	1	2	0	1	0	0	0	0	0
	Derramamento de carga	2	1	0	3	0	0	0	1	0	0	0	0
	Incêndio	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Queda de veículo	534	560	431	501	518	404	143	152	124	12	17	9
	Saída da pista	47	61	32	32	53	24	13	20	8	1	1	5
	Tombamento	156	158	96	174	162	95	27	44	24	0	1	1
NÃO IDENTIFICADO	Atropelamento de animal	12	16	11	4	2	1	2	4	1	1	1	0
	Atropelamento de pessoas	499	462	359	85	72	75	154	145	109	277	251	173
	Capotamento	50	52	42	2	6	1	0	1	0	0	0	0
	Colisão com bicicletas	117	111	83	4	4	2	4	7	2	0	1	1
	Colisão com objeto fixo	86	61	48	1	2	1	2	1	2	0	0	0
	Colisão com objeto móvel	24	31	19	1	1	1	3	0	1	1	0	0
	Colisão frontal	89	106	74	4	0	3	3	3	3	0	3	2
	Colisão lateral	756	820	586	5	13	5	6	6	3	2	1	1
	Colisão transversal	233	238	209	13	8	16	9	10	10	0	2	2
	Colisão traseira	1273	1493	1078	15	12	12	5	8	6	0	5	3
	Danos eventuais	9	10	5	1	1	1	0	1	1	0	0	0
	Derramamento de carga	4	7	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Incêndio	3	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Queda de veículo	95	80	59	26	19	10	9	7	6	2	1	1
	Saída da pista	111	113	82	2	12	2	2	1	2	0	0	2
	Tombamento	35	32	22	5	3	1	1	0	0	1	0	0
ÔNIBUS	Atropelamento de animal	172	168	120	12	37	20	2	1	6	1	0	1
	Atropelamento de pessoas	201	170	142	67	65	45	67	61	50	76	70	51
	Capotamento	23	21	17	53	40	53	20	26	11	0	13	10

	Colisão com bicicletas	85	83	42	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Colisão com objeto fixo	142	160	98	42	81	32	14	3	6	1	2	2
Tipo	Descrição tipo acidente	Qtd de acidentes			Qtd de ferido leve			Qtd feridos grave			Qtd de mortes		
		2012	2013	2014	2012	2013	2014	2012	2013	2014	2012	2013	2014
ÔNIBUS	Colisão com objeto móvel	84	78	54	11	5	4	0	0	3	0	0	0
	Colisão frontal	328	361	262	509	415	255	148	108	115	65	37	35
	Colisão lateral	2933	2999	1902	237	291	307	38	63	67	11	16	18
	Colisão transversal	896	903	674	212	241	216	51	26	35	6	3	4
	Colisão traseira	3175	3332	2307	981	1271	707	437	145	78	29	13	14
	Danos eventuais	66	62	37	18	13	11	1	3	5	2	1	0
	Derramamento de carga	7	9	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Incêndio	52	52	37	14	3	5	3	2	0	0	0	0
	Queda de veículo	45	41	36	12	7	9	5	5	1	2	0	3
	Saída da pista	206	206	136	558	658	428	129	184	102	33	49	47
Tombamento	71	61	35	499	351	184	79	41	34	21	8	10	
TRICICLO	Atropelamento de animal	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0
	Atropelamento de pessoas	1	1	0	2	0	0	1	1	0	0	0	0
	Capotamento	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0
	Colisão com bicicletas	0	2	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0
	Colisão com objeto fixo	4	1	1	1	0	0	3	0	1	3	1	0
	Colisão com objeto móvel	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	Colisão frontal	1	2	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0
	Colisão lateral	5	2	6	5	0	0	1	0	1	0	0	0
	Colisão transversal	7	3	4	2	1	2	2	0	0	0	0	0
	Colisão traseira	16	11	5	3	3	2	1	0	0	0	0	0
Queda de veículo	1	2	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	
Saída da pista	2	4	3	1	2	0	0	1	2	0	0	0	
UTILITÁRIO	Atropelamento de animal	40	42	41	3	2	5	1	0	0	0	0	0
	Atropelamento de pessoas	32	28	17	8	12	5	7	6	7	17	20	5
	Capotamento	139	104	89	109	71	69	21	8	19	6	1	1
	Colisão com bicicletas	9	6	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Colisão com objeto fixo	76	76	70	11	9	14	9	6	4	3	0	0
	Colisão com objeto móvel	18	22	14	1	1	0	0	0	0	0	0	0
UTILITÁRIO	Colisão frontal	63	85	76	32	35	35	6	24	22	2	11	6
	Colisão lateral	258	300	228	29	33	22	10	10	1	1	3	0
	Colisão transversal	187	230	166	21	30	29	5	10	7	2	1	0
	Colisão traseira	862	1012	701	33	42	42	7	4	18	5	1	1
	Danos eventuais	10	1	4	1	0	1	0	0	0	0	0	0
	Derramamento de carga	5	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Incêndio	2	4	4	0	1	0	0	0	0	0	0	0
	Queda de veículo	3	6	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	Saída da pista	185	251	203	73	134	94	28	22	36	4	10	5
	Tombamento	14	20	22	5	10	6	4	0	0	0	0	0
CAMINHÃO-TANQUE	Atropelamento de animal	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Atropelamento de pessoas	1	1	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0
	Capotamento	1	4	1	1	2	0	0	0	0	0	0	0
	Colisão com objeto fixo	2	3	4	0	1	0	0	1	1	0	0	0
	Colisão com objeto móvel	1	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Colisão frontal	3	3	3	0	0	0	1	0	0	0	1	1
	Colisão lateral	26	39	30	1	0	3	1	1	0	1	0	0
	Colisão transversal	7	14	14	0	0	1	0	0	0	0	0	0
	Colisão traseira	29	48	46	0	1	3	1	0	2	0	0	0
	Danos eventuais	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Derramamento de carga	0	2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
	Incêndio	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Queda de veículo	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Saída de pista	10	17	12	2	3	3	5	1	1	2	0	0	
Tombamento	4	8	7	1	1	3	0	1	0	0	0	0	
SEMI-REBOQUE	Atropelamento de pessoas	6	2	0	3	1	0	2	0	0	2	1	0
	Capotamento	1	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Colisão com bicicletas	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Colisão com objeto fixo	4	15	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Colisão com objeto móvel	6	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Colisão frontal	12	5	7	2	0	0	2	1	1	0	0	0
	Colisão lateral	65	61	32	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Colisão transversal	9	10	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Colisão traseira	74	69	53	0	0	1	0	0	1	0	0	0	

	Danos eventuais	0	5	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Derramamento de carga	2	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Incêndio	4	3	5	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Tipo	Descrição tipo acidente	Qtd de acidentes			Qtd de ferido leve			Qtd feridos grave			Qtd de mortes		
		2012	2013	2014	2012	2013	2014	2012	2013	2014	2012	2013	2014
S-R	Queda de veículo	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Saída da pista	8	12	10	1	2	1	0	0	2	0	0	0
	Tombamento	11	5	6	2	0	2	0	0	0	1	0	0
TRATOR DE RODAS	Atropelamento de pessoas	1	4	5	1	2	0	0	2	1	0	0	4
	Capotamento	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	Colisão com objeto fixo	6	10	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	Colisão com objeto móvel	1	10	4	0	0	0	0	1	0	0	0	0
	Colisão frontal	15	2	6	8	0	1	0	1	1	0	0	0
	Colisão lateral	47	31	29	3	2	1	0	0	4	0	0	0
	Colisão transversal	37	35	38	6	1	2	0	3	1	0	0	0
	Colisão traseira	59	60	56	4	6	7	1	1	1	1	0	2
	Danos eventuais	7	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Derramamento de carga	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Queda de veículo	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	1	0
	Saída da pista	7	9	13	0	3	1	1	1	0	0	0	1
	Tombamento	9	12	3	4	3	0	0	2	0	0	2	0
REBOQUE	Atropelamento de pessoas	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0
	Capotamento	0	2	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Colisão com bicicletas	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Colisão com objeto fixo	6	4	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	Colisão com objeto móvel	4	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
REBOQUE	Colisão frontal	3	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Colisão lateral	13	11	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Colisão transversal	4	4	3	0	1	0	0	0	0	0	0	0
	Colisão traseira	30	26	11	0	0	1	0	0	0	0	0	0
	Danos eventuais	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Derramamento de carga	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
	Incêndio	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Saída da pista	4	6	6	1	0	2	1	0	1	0	0	0
Tombamento	4	2	2	0	0	0	0	0	0	1	0	0	
TRATOR DE ESTEIRAS	Atropelamento de pessoas	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	Colisão com objeto fixo	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Colisão com objeto móvel	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Colisão lateral	1	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Colisão transversal	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Colisão traseira	0	4	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0
	Tombamento	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BONDE / TREM	Atropelamento de pessoas	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
	Colisão com objeto móvel	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Colisão lateral	3	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Colisão transversal	17	24	13	1	0	1	0	0	0	0	0	0
	Colisão traseira	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Saída de pista	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CARRO DE MÃO	Colisão com objeto móvel	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	Colisão lateral	0	2	2	0	2	0	0	1	0	0	0	0
	Colisão transversal	3	2	1	0	0	0	2	0	1	0	0	0
	Colisão traseira	1	3	2	1	2	0	0	0	1	0	0	0
	Queda de veículo	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
TRATOR DE RODAS	Colisão frontal	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
	Colisão lateral	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	Colisão traseira	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CHARRETE	Colisão com objeto móvel	0	1	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0
	Colisão frontal	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Colisão lateral	1	3	1	2	0	0	0	1	0	0	0	0
	Colisão transversal	2	10	5	0	4	3	0	2	2	0	1	0
	Colisão traseira	4	1	4	3	1	2	0	0	0	0	0	2
TRATOR DE RODAS	Colisão lateral	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Colisão traseira	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
TRATOR DE RODAS	Atropelamento de animal	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
	Atropelamento de pessoas	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0
	Capotamento	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Colisão com objeto fixo	0	0	2	0	0	0	0	0	1	0	0	0

ANEXO II: Tabela quantitativo acidentes por ano

Ano do Acidente	Quantidade Acidentes	Quantidade Ferido Leve	Quantidade Ferido Grave	Quantidade Morto
2009	9.678	4.485	1.152	338
2010	11.018	4.256	984	318
2011	11.590	4.708	1.157	366
2012	10.629	4.280	1.357	357
2013	10.703	4.353	935	312
2014	6.179	2.508	599	225

ANEXO III: Tabela

Quantidade de veículos emplacados - Brasil – até 30/04/2017

Código Marca Modelo Veículo	Marca Modelo	Qtd. Veículos Frota Atual
411371	M.BENZ/COMIL CAMPIONE DD	15
416527	M.BENZ/MPOLO PARAD GVDDR	16
416638	MBENZ/MPOLO PARADISO DD	208
416573	MBENZ/MPOLO PARADISO DDR	141
411373	SCANIA/COMIL CAMPIONE DD	39
416528	SCANIA/MPOLO PARAD GVDDR	41
416575	SCANIA/MPOLO PARADIS DDR	554
416639	SCANIA/MPOLO PARADISO DD	502
411370	VOLVO/COMIL CAMPIONE DD	52
416529	VOLVO/MPOLO PARAD GVDDR	14
416637	VOLVO/MPOLO PARADISO DD	256
416574	VOLVO/MPOLO PARADISO DDR	135

Fonte: DENATRAN, Registro Nacional de Veículos Automotores/RENAVAM.

RESOLUÇÃO Nº (DIGITE O NÚMERO DA RESOLUÇÃO E A DATA)

Altera o item 1 e Apêndice 3 do Anexo III da Resolução CONTRAN nº 445, de 25 de junho 2013, que estabelece os requisitos de segurança para veículos de transporte público coletivo de passageiros tipos micro-ônibus e ônibus da categoria M3.

O CONSELHO NACIONAL DE TRÂNSITO (CONTRAN), usando da competência que lhe confere o inciso I do art. 12 da Lei nº. 9503, de 23 de setembro de 1997, que institui o Código de Trânsito Brasileiro (CTB), e conforme o Decreto nº. 4711, de 29 de maio de 2003, que dispõe sobre a coordenação do Sistema Nacional de Trânsito (SNT);

CONSIDERANDO a melhor adequação do veículo de transporte público coletivo de passageiros e transporte de passageiros à sua função, ao meio ambiente e ao trânsito;

RESOLVE:

Art. 1º Alterar o item 1 e apêndice do Anexo III da Resolução CONTRAN nº 445, de 25 de junho 2013, que passam a vigorar conforme redação dada no anexo desta Resolução.

Art. 2º Esta Resolução entra em vigor na data de sua publicação.

ANEXO
**PROCEDIMENTO PARA AVALIAÇÃO ESTRUTURAL DE CARROÇARIAS
 DE
 VEÍCULOS DA CATEGORIA M3**

1 CAMPO DE APLICAÇÃO

1.1 Os veículos da categoria M3 deverão ser submetidos aos requisitos do presente Anexo de acordo à sua lotação ou peso bruto máximo, indiferente da classe de aplicação definidos no ANEXO I desta Resolução. Os critérios que diferenciam cada um estão descritos nas tabelas abaixo.

Tabela – Veículos M3				
Transporte Público Coletivo de Passageiros			Transporte de Passageiros	
Urbano	Intermunicipal	Rodoviário	Escolar	Particular
Até 16 passageiros independente do PBT: - Itens 1.1 e 1.2 do Apêndice 1. - Item 2 do Apêndice 2.	Até 16 passageiros e PBT <10 t: - Itens 1.1 e 1.2 do Apêndice 1. - Itens 1 e 2 do Apêndice 2.	Até 16 passageiros e PBT <10 t: - Itens 1.1 e 1.2 do Apêndice 1. - Itens 1 e 2 do Apêndice 2.	Até 16 passageiros independente do PBT: - Itens 1.1 e 1.2 do Apêndice 1. - Item 2 do Apêndice 2.	Até 16 passageiros e PBT <10 t: - Itens 1.1 e 1.2 do Apêndice 1. - Itens 1 e 2 do Apêndice 2.
Mais de 16 passageiros independente do PBT: - Apêndice 3.	Mais de 16 passageiros e/ou PBT ≥ 10 t: - Apêndice 3 - Item 1 do Apêndice 2.	Mais de 16 passageiros e/ou PBT ≥ 10 t: - Apêndice 3 - Item 1 do Apêndice 2.	Mais de 16 passageiros independente do PBT: - Apêndice 3.	Mais de 16 passageiros e/ou PBT ≥ 10 t: - Apêndice 3 - Item 1 do Apêndice 2.
Nota: quando o veículo atender com o Apêndice 3, independentemente do PBT, o mesmo fica dispensado do atendimento do Apêndice 1 e item 2 do Apêndice 2.				

Legenda:

Apêndice 1

Item 1.1 = 50% PBT sobre o teto

Item 1.2 = tração lateral

Apêndice 2

Item 1 = impacto frontal

Item 2 = condições de resistência a impactos na lateral esquerda

Apêndice 3

Avaliação da superestrutura

APÊNDICE 3 (Anexo III)

RESISTÊNCIA DA SUPERESTRUTURA

1 TERMOS E DEFINIÇÕES

Para efeitos do presente regulamento, aplicam-se as seguintes definições e terminologia:

1.1 Unidades de medida:

- Dimensões e distâncias lineares: Metros (m) ou milímetros (mm)
- Massa ou carga: Quilogramas (kg)
- Força (e peso): Newtons (N)
- Momento: Metros de Newton (Nm)

1.2 Modelo de veículo – designa uma categoria de veículo produzidos com as mesmas características técnicas de projeto, dimensões principais e configuração. O modelo de veículo é definido pelo fabricante do veículo.

1.3 Grupo de modelos de veículos - designa os modelos de veículos, atualmente existentes e a propor no futuro, abrangidos pela homologação do caso mais desfavorável no que respeita ao presente regulamento.

1.4 O caso mais desfavorável - designa o modelo de veículo, num grupo de modelos de veículos, menos susceptível de poder cumprir os requisitos do presente regulamento no que respeita à resistência da superestrutura. Os três parâmetros que definem o caso mais desfavorável são: resistência estrutural, energia de referência e espaço residual.

1.5 Compartimento(s) para passageiro - designa(m) o(s) espaço(s) destinado(s) aos passageiros, excluindo o espaço ocupado por quaisquer equipamentos fixos, tais como bares, *kitchenettes* ou instalações sanitárias.

1.6 Compartimento do condutor - designa o espaço que se destina a ser utilizado exclusivamente pelo condutor e no qual se situam o banco do condutor, o volante, os comandos, os instrumentos e outros dispositivos necessários à condução do veículo.

1.7 Sistema de retenção do ocupante - designa qualquer dispositivo que prenda um passageiro, o condutor ou um membro da tripulação ao banco respectivo durante uma capotagem. Plano longitudinal vertical médio» (VLCP) designa o plano vertical que passa pelos pontos médios do eixo dianteiro e do eixo traseiro.

1.8 Plano longitudinal vertical médio (VLCP) - designa o plano vertical que passa pelos pontos médios do eixo dianteiro e do eixo traseiro.

1.9 Espaço residual - designa um espaço a preservar no(s) compartimento(s) para os passageiros, a tripulação e o condutor para aumentar a possibilidade de sobrevivência dos passageiros, do condutor e da tripulação em caso de capotagem.

1.10 Massa sem carga em ordem de marcha (M_k) - designa a massa do veículo em ordem de marcha, sem ocupantes e sem carga, mas adicionando 75 kg para a massa do condutor, a massa do combustível correspondente a 90 por cento da capacidade do tanque de combustível especificada pelo fabricante e as massas do fluido de arrefecimento, dos lubrificantes, das ferramentas e de uma roda de reserva, se aplicável.

1.11 Massa total dos ocupantes (M_m) - designa a massa combinada dos eventuais passageiros e da tripulação que ocupem lugares sentados equipados com sistemas de retenção de ocupantes.

1.12 Massa total efetiva do veículo (M_t) - designa a massa do veículo sem carga em ordem de marcha (M_k) combinada com a porção ($k = 0,5$) da massa total dos ocupantes (M_m) considerada rigidamente fixada ao veículo.

1.13 Massa individual de um ocupante (M_{mi}) - designa a massa nominal de um ocupante. O valor desta massa é de 68 kg.

1.14 Energia de referência (E_r) - designa a energia potencial do modelo de veículo a homologar, medida em relação ao nível horizontal inferior da vala, na posição inicial, instável, do processo de capotagem.

1.15 Ensaio de capotagem de um veículo completo - designa um ensaio com um veículo completo, em tamanho real, para comprovação da resistência exigida da superestrutura.

1.16 Banco basculante - designa um dispositivo técnico, incluindo uma plataforma basculante, uma vala e uma superfície de concreto, usado para o ensaio de capotagem de um veículo completo ou de secções da carroçaria.

1.17 Plataforma basculante - designa um plano rígido capaz de rodar em torno de um eixo horizontal para fazer bascular um veículo completo ou secções da carroçaria.

1.18 Carroçaria - designa a estrutura completa do veículo em ordem de marcha, incluindo todos os elementos estruturais que formam o(s) compartimento(s) para passageiros, o compartimento do condutor, o compartimento para bagagem e os espaços destinados às unidades e aos componentes mecânicos.

1.19 Superestrutura», designa os componentes portantes da carroçaria tal como definidos pelo fabricante, incluindo as peças e elementos que contribuem para a resistência e a capacidade de absorção de energia da carroçaria, preservando o espaço residual no ensaio de capotagem.

1.20 Segmento - designa uma seção da superestrutura que forma um quadro fechado entre dois planos perpendiculares ao plano longitudinal vertical médio do veículo. Um segmento inclui um montante de janela (ou porta) em cada lado do veículo, assim como elementos das paredes laterais, uma seção da estrutura do teto e uma seção do piso e da estrutura de suporte do piso.

1.21 Seção da carroçaria - designa uma unidade estrutural que representa uma parte da superestrutura para efeitos de um ensaio de homologação. Uma seção da carroçaria inclui, pelo menos, dois segmentos ligados por elementos de conexão representativos (laterais, teto e estrutura de suporte do piso).

1.22 Seção da carroçaria original - designa uma seção da carroçaria composta por dois ou mais segmentos exatamente com a mesma forma e posição relativa, tal como aparecem no veículo real. Todos os elementos de conexão entre os segmentos devem estar dispostos exatamente como aparecem no veículo real.

1.23 Seção da carroçaria artificial - designa uma seção da carroçaria construída a partir de dois ou mais segmentos, mas que não foram colocados na mesma posição, nem à mesma distância entre si como no veículo real. Os elementos de conexão

entre esses segmentos não têm de ser idênticos aos da estrutura real da carroçaria, mas devem ser estruturalmente equivalentes.

1.24 Parte rígida - designa a parte ou o elemento da estrutura que não apresenta uma deformação e absorção de energia significativas durante o ensaio de capotagem.

1.25 Zona plástica (PZ) - designa uma parte da superestrutura especial e geometricamente limitada, na qual, em resultado das forças de impacto dinâmicas:

- Estão concentradas grandes deformações plásticas;
- Se produz uma distorção essencial da forma original (seção transversal, comprimento, ou outra característica geométrica);
- Ocorre a instabilidade, em consequência da encurvadura local;
- A energia cinética é absorvida devido a deformação.

1.26 Rótula plástica (PH) - designa uma zona plástica simples formada num elemento linear da estrutura (tubo simples, montante de janela, etc.).

1.27 Longarina lateral do teto - designa o elemento estrutural longitudinal da carroçaria por cima das janelas laterais, incluindo a transição curva de ligação com a estrutura do teto. No ensaio de capotagem, é a longarina lateral do teto (no caso de um ônibus de dois pisos, a longarina lateral do teto do piso superior) que colide primeiro com o pavimento.

1.28 Longarina de cintura - designa o elemento estrutural longitudinal da carroçaria abaixo das janelas laterais. No ensaio de capotagem, a longarina de cintura (no caso de um autocarro de dois pisos, a longarina de cintura do piso superior) pode ser a segunda zona a entrar em contato com o pavimento, após a deformação inicial da seção transversal do veículo.

2 ESPECIFICAÇÕES E REQUISITOS GERAIS

2.1 Requisitos

A superestrutura do veículo deve ter uma resistência suficiente para garantir que o espaço residual, durante e após o ensaio de capotagem no veículo completo, não foi danificado, o que significa que:

2.1.1 Nenhuma das partes do veículo que esteja situada fora do espaço residual no início do ensaio (por exemplo, montantes, barras de segurança, porta-bagagens) deve penetrar no espaço residual durante o ensaio. Os elementos da estrutura originalmente situados no espaço residual (por exemplo, varões verticais, divisórias, cozinhas, instalações sanitárias) não devem ser considerados ao avaliar a intrusão no espaço residual.

2.1.2 Nenhuma parte do espaço residual deve sobressair da estrutura deformada. O contorno da estrutura deformada é determinado ponto a ponto entre cada montante de janela e/ou de porta adjacentes. Entre dois montantes deformados, o contorno é uma superfície teórica determinada por retas unindo os pontos de contorno internos dos montantes, situados à mesma altura acima do nível do piso antes do ensaio de capotagem.

2.2 Espaço residual

A envolvente do espaço residual do veículo é definida por meio de um plano vertical transversal no interior do veículo, cuja periferia é a descrita nas figuras 2a) e 2c), e movendo este plano ao longo do comprimento do veículo [ver figura 2b)] da seguinte maneira:

2.2.1 O ponto S_R situa-se no encosto de cada banco exterior orientado para a frente ou para a retaguarda (ou lugar sentado nominal), a 500 mm acima do piso sob o assento, a 150 mm da superfície interior da parede lateral. Não devem ser tidas em conta as cavas de roda e outras variações da altura do piso. Estas dimensões devem igualmente ser aplicadas, no caso de bancos virados para dentro, no seu plano médio.

2.2.2 Se os dois lados do veículo não forem simétricos no que respeita à disposição do piso e, conseqüentemente, à altura dos pontos S_R , o degrau entre as duas linhas do piso do espaço residual deve situar-se no plano longitudinal vertical médio do veículo [ver figura 2c)].

2.2.3 A posição mais recuada do espaço residual é um plano vertical situado 200 mm atrás do ponto S_R do banco exterior mais recuado, ou a face interna da parede da retaguarda do veículo, se esta se situar a menos de 200 mm atrás do ponto S_R .

A posição mais avançada do espaço residual é um plano vertical situado 600 mm à frente do ponto S_R do banco (de passageiros, da tripulação, ou do condutor) mais avançado do veículo regulado na sua posição mais avançada.

Se os bancos mais recuados e mais avançados dos dois lados do veículo não estiverem situados nos mesmos planos transversais, o comprimento do espaço residual em cada lado será diferente.

2.2.4 O espaço residual é contínuo no(s) compartimento(s) para os passageiros, a tripulação e o condutor entre o seu plano mais recuado e o mais avançado e é determinado através da deslocação do plano transversal vertical definido ao longo do comprimento do veículo, segundo retas que passem pelos pontos de S_R de ambos os lados do veículo. Atrás do ponto S_R do banco mais recuado e à frente do ponto S_R do banco mais avançado, as retas são horizontais.

2.2.5 O fabricante pode definir um espaço residual maior do que o exigido para uma dada disposição de bancos para simular o caso mais desfavorável num grupo de modelos de veículo, com o objetivo de permitir o futuro desenvolvimento do arranjo interior.

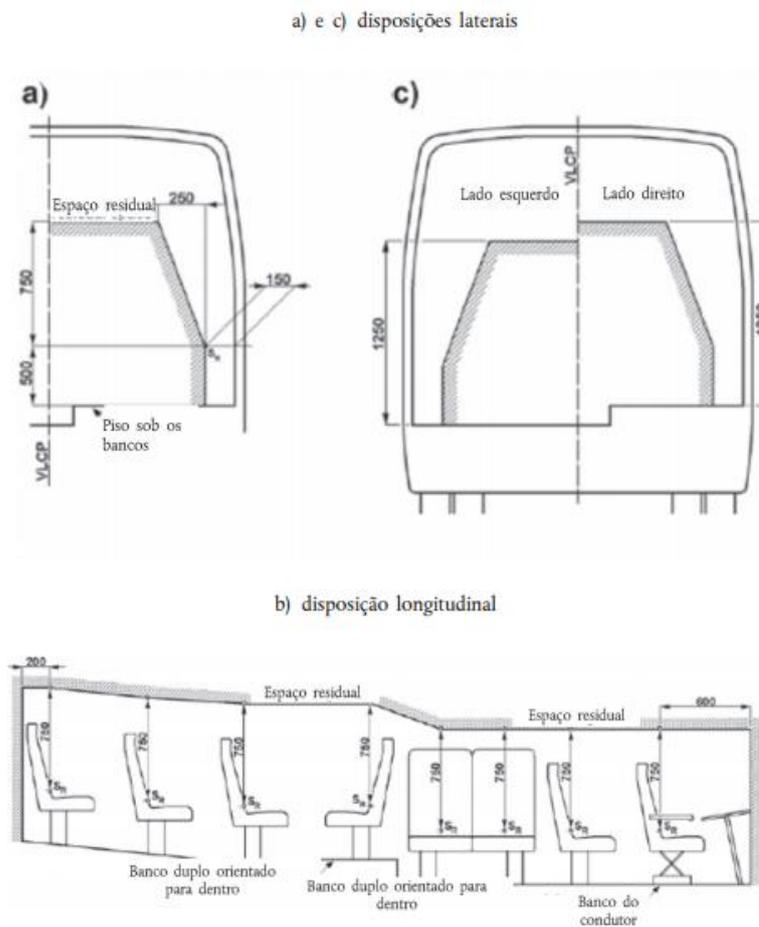


Figura 2 – Especificação do espaço residual

2.3 Especificação do ensaio de capotagem como método de homologação de base
O ensaio de capotagem é um ensaio de inclinação lateral (ver figura 3), efetuado do seguinte modo:

2.3.1 O veículo completo é colocado na plataforma basculante, com a suspensão bloqueada, e é inclinado lentamente até atingir uma posição de equilíbrio instável. Se o modelo de veículo não estiver equipado com sistemas de retenção dos ocupantes, deve ser ensaiado na sua massa sem carga em ordem de marcha. Se o modelo de veículo estiver equipado com sistemas de retenção dos ocupantes, deve ser ensaiado com a massa total efetiva do veículo.

2.3.2 O ensaio de capotagem tem início nessa posição instável do veículo, com uma velocidade angular nula, passando o eixo de rotação pelos pontos de contato das rodas com o solo. Nesse momento, o veículo é caracterizado pela energia de referência E_R

2.3.3 O veículo inclina-se até cair numa vala com uma profundidade nominal de 800 mm e um pavimento de concreto cuja superfície é horizontal, seca e plana.

2.3.4 As especificações técnicas pormenorizadas do ensaio de capotagem com um veículo completo, enquanto ensaio de homologação de base, são as indicadas no apêndice A.

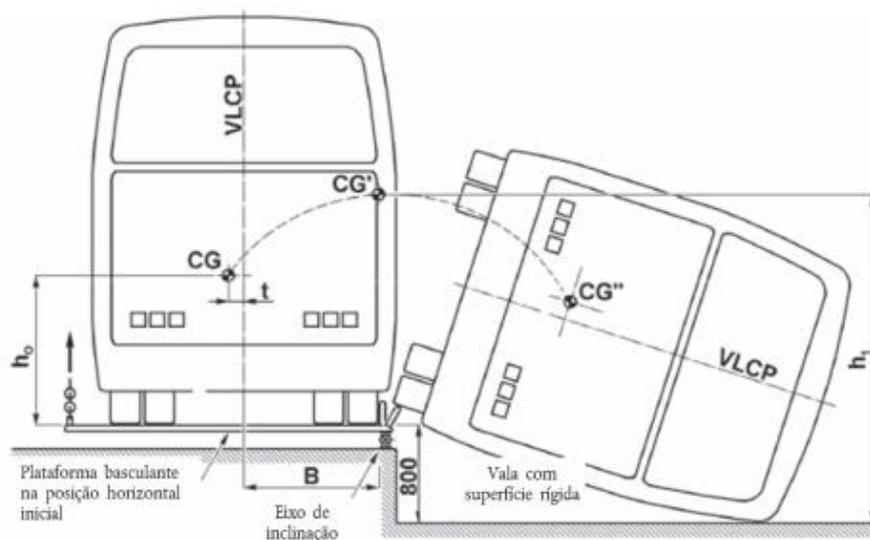


Figura 3 - Representação do ensaio de capotagem com um veículo completo, indicando o trajeto do centro de gravidade a partir da posição inicial, passando pela posição de equilíbrio instável

2.4 Especificações dos ensaios de homologação equivalentes

Em vez do ensaio de capotagem com um veículo completo, ao critério do fabricante, é possível optar por um dos seguintes métodos de ensaio de homologação equivalentes:

2.4.1 Ensaio de capotagem com secções da carroçaria representativas do veículo completo em conformidade com as especificações do apêndice B.

2.4.2 Ensaios quase estáticos de carga de secções da carroçaria em conformidade com as especificações do apêndice C.

2.4.3 Cálculos quase estáticos baseados nos resultados de ensaios com componentes em conformidade com as especificações do apêndice D1.

2.4.4 Simulação informática – por meio de cálculos dinâmicos – do ensaio de capotagem de base com um veículo completo em conformidade com as especificações do apêndice D2.

2.4.5 O princípio de base é que o método equivalente de ensaio de homologação deve ser levado a efeito de modo a que represente o ensaio de capotagem de base especificado no apêndice A. Se o método de ensaio de homologação equivalente escolhido pelo fabricante não puder ter em conta alguma característica especial ou de construção do veículo (por exemplo, sistema de ar condicionado no teto, altura variável da longarina de cintura, altura variável do teto), o DENATRAN pode requerer que o veículo completo seja submetido ao ensaio de capotagem especificado no apêndice A.

2.5 Ensaio de veículos articulados

No caso de um veículo articulado, cada seção rígida do veículo deve obedecer ao requisito geral especificado no item 2.1. Cada seção rígida de um veículo articulado pode ser ensaiada separadamente ou em combinação, conforme descrito no item 2.3 do apêndice A

2.6 Direção do ensaio de capotagem

O ensaio de capotagem é realizado do lado do veículo que for mais perigoso no que diz respeito ao espaço residual. A decisão é tomada pelo DENATRAN com base na proposta do fabricante, tendo, pelo menos, em conta o seguinte:

2.6.1 A excentricidade lateral do centro de gravidade e o seu efeito na energia de referência na posição instável e inicial do veículo;

2.6.2 A assimetria do espaço residual, ver item 2.2.2;

2.6.3 As características de construção diferentes, assimétricas dos dois lados do veículo, e o reforço conferido por divisórias ou compartimentos interiores (por exemplo, guarda-roupa, banheiro, cozinha). O lado com menor apoio é escolhido como sentido do ensaio de capotagem.

Apêndice A (Apêndice 3)

ENSAIO DE CAPOTAGEM COMO MÉTODO DE HOMOLOGAÇÃO BASE

1 Banco basculante

1.1 A plataforma basculante deve ser suficientemente rígida e a rotação suficientemente controlada para assegurar a elevação simultânea dos eixos do veículo com uma diferença de menos de 1° nos ângulos de inclinação da plataforma, medidos abaixo dos eixos.

1.2 A diferença de altura entre o plano inferior horizontal da vala (ver figura 4) e o plano da plataforma basculante na qual está o autocarro deve ser de 800 ± 20 mm.

1.3 A plataforma basculante deve ser colocada do seguinte modo relativamente à vala (ver figura 4):

1.3.1 O seu eixo de rotação deve estar situado, no máximo, a 100 mm da parede vertical da vala;

1.3.2 O eixo de rotação deve estar situado, no máximo, a 100 mm abaixo do plano horizontal da plataforma basculante.

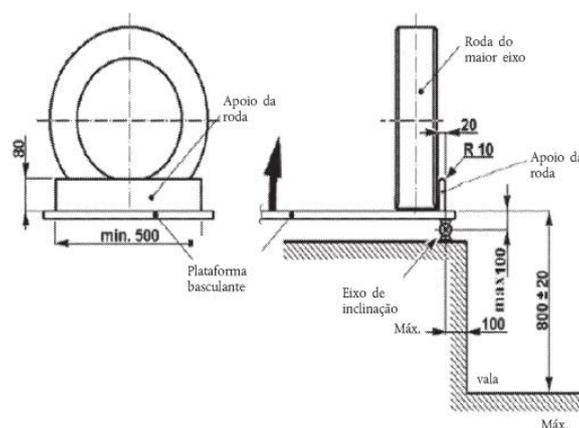


Figura 4 – Geometria do banco basculante

1.4 Os apoios das rodas são aplicados nas rodas perto do eixo de rotação contra o deslizamento do veículo lateralmente, ao ser inclinado. As características principais dos apoios das rodas (ver figura 4) devem ser:

1.4.1 Dimensões dos apoios das rodas:

- Altura: não deve ser maior do que dois terços da distância entre a superfície na qual o veículo repousa antes de ser inclinado e a parte da jante da roda mais próxima dessa superfície;
- Largura: 20 mm;
- Raio das arestas: 10 mm;
- Comprimento: no mínimo: 500 mm.

1.4.2 Os apoios das rodas no eixo mais largo são colocados na plataforma basculante, para que o eixo de rotação diste, no máximo, 100 mm da face exterior do pneumático;

1.4.3 Os apoios de roda nos outros eixos devem ser ajustados para que o plano longitudinal vertical médio (VLCP) do veículo fique paralelo ao eixo de rotação.

1.5 A plataforma basculante é construída para impedir o veículo de se mover ao longo do seu eixo longitudinal.

1.6 A área de impacto da vala deve ter um pavimento de concreto com uma superfície horizontal, uniforme, seca e plana.

2 Preparação do veículo de ensaio

2.1 O veículo a ensaiar não tem de estar completamente acabado e pronto a funcionar. Em geral, é admissível qualquer alteração relativamente à condição completamente acabado, desde que as características de base e o comportamento funcional da superestrutura não sejam afetados por esse fato. O veículo de ensaio deve ser idêntico à sua versão completamente acabada no que respeita ao seguinte:

2.1.1 A posição do centro de gravidade, o valor total da massa do veículo (massa sem carga em ordem de marcha ou massa total efetiva do veículo equipado com sistemas de retenção) e a distribuição e a localização das massas, tal como declarada pelo fabricante.

2.1.2 Todos os elementos que, de acordo com o fabricante, contribuam para a resistência da superestrutura devem ser instalados na sua posição original.

2.1.3 Os elementos que não contribuam para a resistência da superestrutura e sejam demasiado valiosos para se correr o risco de poderem vir a ser danificados (por exemplo, corrente motriz, equipamento do painel de instrumentos, etc.) podem ser substituídos por elementos adicionais equivalentes em massa e no tocante ao

método de instalação. Esses elementos adicionais não devem produzir um efeito de reforço na resistência da superestrutura.

2.1.4 O combustível, o ácido da bateria e outros materiais combustíveis, explosivos ou corrosivos, podem ser substituídos por outros materiais, desde que as condições do item 2.1.1. se encontrem preenchidas.

2.1.5 Se os sistemas de retenção dos ocupantes fizerem parte do equipamento do modelo de veículo em causa, deve ser fixada uma massa a cada banco equipado com sistemas de retenção do ocupante segundo um dos dois métodos seguintes, à discricção do fabricante:

2.1.5.1 Primeiro método: essa massa deve:

2.1.5.1.1 Corresponder a 50 por cento da massa de um ocupante individual (Mmi) com 68 kg;

2.1.5.1.2 Estar colocada no centro de gravidade, a 100 mm acima e a 100 mm para a frente do ponto R do banco.

2.1.5.1.3 Estar fixada de forma rígida e firme para que não se desprenda durante o ensaio.

2.1.5.2 Segundo método: essa massa deve:

2.1.5.2.1 Corresponder a um balastro antropomórfico com uma massa de 68 kg, seguro com um sistema de retenção de dois pontos. O manequim deve permitir guiar e posicionar os cintos de segurança;

2.1.5.2.2 Estar colocada de tal forma que o seu centro de gravidade e as suas dimensões sejam conformes ao indicado na figura 5;

2.1.5.2.3 Estar fixada de forma rígida e firme para que não se desprenda durante o ensaio.

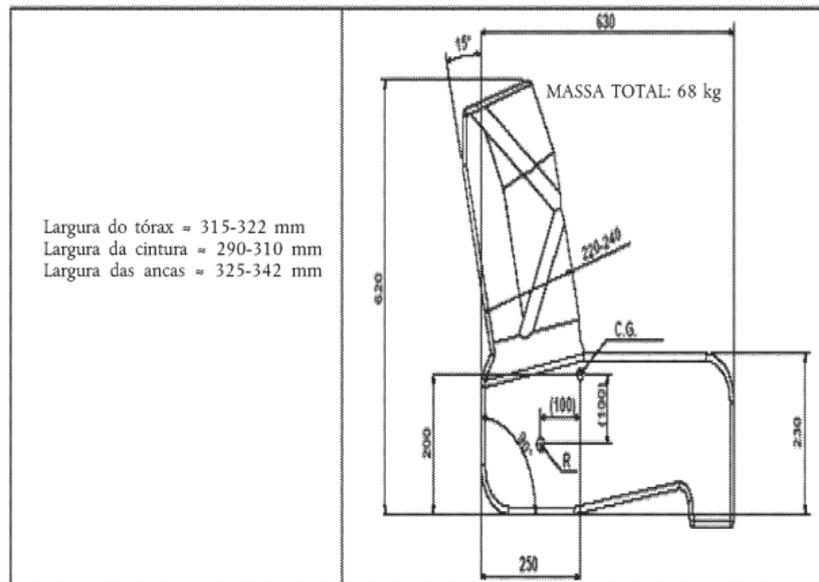


Figura 5 – Dimensões do balastro antropomórfico

2.2 O veículo de ensaio é preparado do seguinte modo:

2.2.1 Os pneus são insuflados à pressão prescrita pelo fabricante.

2.2.2 O sistema de suspensão do veículo é bloqueado, ou seja, os eixos, as molas e os elementos de suspensão do veículo devem ser fixados em relação à carroçaria. A altura do pavimento acima da plataforma basculante horizontal deve estar conforme às especificações do fabricante do veículo, consoante este último esteja na condição de massa sem carga em ordem de marcha ou carregado à massa total.

2.2.3 Todas as portas e janelas de abrir do veículo devem estar fechadas, mas não trancadas.

2.3 As secções rígidas de um veículo articulado podem ser ensaiadas separadamente ou em conjunto.

2.3.1 Para ensaiar as secções articuladas como um conjunto, as secções do veículo devem ser fixadas entre si de tal modo que:

2.3.1.1 Não se verifique uma deslocação relativa entre estas durante o processo de capotagem;

2.3.1.2 Não se verifique uma alteração significativa na distribuição da massa e nas posições do centro de gravidade;

2.3.1.3 Não se verifique qualquer alteração significativa na capacidade de resistência e deformação da superestrutura.

2.3.2 Para ensaiar separadamente as secções articuladas, as secções com um único eixo devem ser fixadas a um dispositivo artificial de apoio que as mantenha

fixas em relação à plataforma basculante durante o movimento de inclinação da horizontal até ao ponto de capotagem. Este dispositivo de apoio deve cumprir os seguintes requisitos:

2.3.2.1 Deve estar fixado à estrutura de modo que não produza nem um efeito de reforço, nem de carga adicional sobre a superestrutura;

2.3.2.2 Deve ser construído de modo que não sofra qualquer deformação suscetível de modificar o sentido de capotagem do veículo;

2.3.2.3 A sua massa deve ser igual à massa dos elementos que constituem a junta articulada e que pertencem nominalmente à seção a ensaiar, mas que não são montadas nessa seção (por exemplo, plataforma giratória e respectivo pavimento, cortinas impermeáveis de borracha, etc.);

2.3.2.4 O seu centro de gravidade deve ter a mesma altura que o centro de gravidade comum aos elementos mencionados no item 2.3.2.3.

2.3.2.5 Deve ter um eixo de rotação paralelo ao eixo longitudinal da seção do veículo com vários eixos e passar através dos pontos de contato dos pneumáticos dessa seção.

3 Procedimento de ensaio, processo de capotagem

3.1 Para o ensaio de capotagem, é necessário dispor de equipamentos e instrumentos de medição que permitam ter em conta um processo muito rápido, dinâmico e com várias fases distintas.

3.2 O veículo deve ser inclinado, sem balançar e sem efeitos dinâmicos, até alcançar um equilíbrio instável e começar o processo de capotagem. A velocidade angular da plataforma basculante não deve exceder 5 graus/ segundo (0,087 radianos por segundo).

3.3 Para observar o interior do veículo e verificar se os requisitos do item 2.1 do apêndice foram cumpridos, utiliza-se um sistema de fotografia ultrarrápida ou de vídeo, gabaritos deformáveis, sensores elétricos de contato ou outros meios adequados. Essa verificação deve ser efetuada em qualquer ponto do compartimento destinado aos passageiros, ao condutor e à tripulação em que o espaço residual pareça estar em risco, ficando à discrição do DENATRAN a definição das posições exatas para essa verificação. Devem ser utilizadas, pelo menos, duas posições, nominalmente localizadas à frente e à retaguarda do(s) compartimento(s) para passageiros.

3.4 Recomenda-se a observação e gravação externas do processo de capotagem e deformação da seguinte forma:

3.4.1 Colocação de duas câmaras ultrarrápidas, uma na frente e outra na retaguarda. Devem estar localizadas a uma distância suficiente da parede da frente e da retaguarda do veículo para produzir uma imagem mensurável, evitando a distorção da grande angular na área sombreada indicada na figura 6.

3.4.2 A posição do centro de gravidade e o contorno da superestrutura (ver figura 7) são marcados por pontos de referência e fitas para permitir medições corretas sobre as imagens.

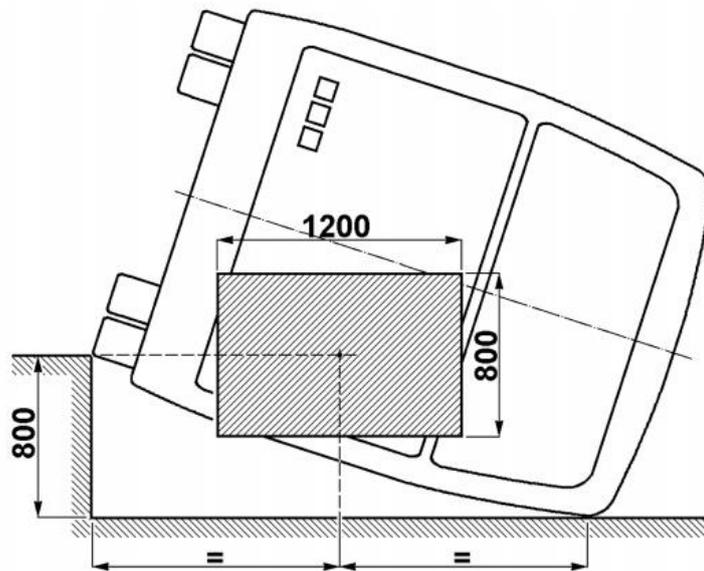


Figura 6 - Campo de visão recomendado para a câmara externa

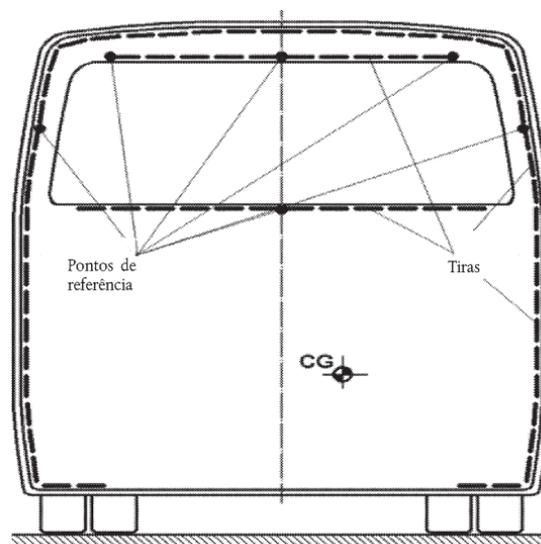


Figura 7 – Marcação recomendada da posição do centro de gravidade e do contorno do veículo

4 Documentação relativa ao ensaio de capotagem

4.1 O fabricante deve fornecer uma descrição pormenorizada do veículo a ensaiar, a saber:

4.1.1 Todas as disparidades existentes entre o modelo de veículo completamente acabado em ordem de marcha e o veículo submetido a ensaio devem ser enumeradas;

4.1.2 Quando partes ou unidades estruturais tiverem sido substituídas por outras unidades ou massas, deve ser comprovada uma substituição equivalente em todos os casos (no que respeita a massa, distribuição da massa e à sua instalação);

4.1.3 Deve ser feita uma declaração clara da posição do centro de gravidade no veículo a ensaiar, que pode ser baseada em medições levadas a efeito no veículo de ensaio quando este estiver pronto para ensaio, ou numa combinação de medições (realizadas no modelo de veículo completamente acabado) e em cálculos baseados nas substituições de massas.

4.2 O relatório de ensaio deve conter todos os dados (imagens, registos, desenhos, valores medidos, etc.) que demonstrem que:

4.2.1 O ensaio em causa foi realizado em conformidade com o disposto no presente anexo;

4.2.2 Os requisitos constantes dos itens 2.1.1 e 2.1.2 do apêndice 3 foram cumpridos (ou não);

4.2.3 Foi efetuada uma avaliação individual das observações no interior;

4.2.4 Dele constam todos os dados e as informações necessárias para a identificação do modelo de veículo, do veículo de ensaio, do ensaio em si e do pessoal responsável pelo mesmo e pela sua avaliação.

4.3 Recomenda-se que, no relatório de ensaio, seja indicada a posição mais elevada e a mais baixa do centro de gravidade relativamente ao nível do pavimento da vala.

Apêndice B (Apêndice 3)
ENSAIO DE CAPOTAGEM QUE UTILIZA SEÇÕES DA CARROÇARIA
ENQUANTO MÉTODO DE HOMOLOGAÇÃO EQUIVALENTE

1 Dados e informações complementares

Se o fabricante optar por este método de ensaio, devem ser fornecidas as seguintes informações ao DENATRAN

1.1 Desenhos das seções da carroçaria a submeter a ensaio;

1.2 Verificação da validade da distribuição das massas, após conclusão satisfatória dos ensaios de capotagem da carroçaria;

1.3 As massas medidas das seções da carroçaria a ensaiar e a verificação de que as posições dos respectivos centros de gravidade são as mesmas que as do veículo sem carga em ordem de marcha, no caso de este não estar equipado com sistemas de retenção dos ocupantes, ou a massa total efetiva do veículo, caso os sistemas de retenção dos ocupantes se encontrem instalados (apresentação dos relatórios de medição).

2 Banco basculante

O banco basculante deve cumprir os requisitos constantes do item 1 do apêndice A.

3 Preparação das seções da carroçaria

3.1 O número de seções da carroçaria a ensaiar é determinado pelas seguintes regras:

3.1.1 Todas as diferentes configurações de segmentos que fazem parte da superestrutura devem ser ensaiadas em, pelo menos, uma seção da carroçaria;

3.1.2 Cada seção da carroçaria deve ter, no mínimo, dois segmentos;

3.1.3 Numa seção artificial carroçaria, a relação da massa de um qualquer segmento relativamente a qualquer outro não deve ser superior a 2;

3.1.4 O espaço residual do veículo completo deve estar bem representado nas seções da carroçaria, incluindo quaisquer combinações especiais resultantes da configuração da carroçaria dos veículos;

3.1.5 A estrutura do teto completa deve estar bem representada nas seções da carroçaria, caso haja particularidades locais, como alteração da altura, instalação de ar condicionado, porta-bagagens, etc.

3.2 Os segmentos da seção da carroçaria devem ser exatamente idênticos, do ponto de vista estrutural, aos que estão representados na superestrutura, no que respeita à forma, à geometria, ao material e às juntas.

3.3 As estruturas de ligação entre os segmentos devem representar a descrição da superestrutura pelo fabricante e as seguintes regras devem ser consideradas:

3.3.1 No caso de uma seção da carroçaria original baseada diretamente na concepção real do veículo, as estruturas de base e de ligação adicionais devem ser as mesmas que as da superestrutura do veículo;

3.3.2 No caso de uma seção da carroçaria artificial, as estruturas de ligação devem ser equivalentes às da superestrutura do veículo no que diz respeito à resistência, à rigidez e ao comportamento funcional;

3.3.3 Os elementos rígidos que não fazem parte da superestrutura, mas que são suscetíveis de invadir o espaço residual durante o processo de deformação, devem ser montados nas seções da carroçaria;

3.3.4 A massa das estruturas de ligação deve ser incluída na distribuição da massa, em termos da sua atribuição a um segmento específico e da sua distribuição no interior do segmento.

3.4 As seções da carroçaria devem estar equipadas com apoios artificiais, para que as posições dos centros de gravidade e os eixos de rotação na plataforma basculante sejam os mesmos que no veículo completo. Esses apoios devem cumprir os seguintes requisitos:

3.4.1 Devem ser fixados à seção da carroçaria, de modo que não produzam um efeito nem de reforço nem de carga adicional na seção da carroçaria;

3.4.2 Devem ser suficientemente sólidos e rígidos para resistir a qualquer deformação susceptível de modificar o sentido da deslocação da seção da carroçaria durante o processo de inclinação e de capotagem;

3.4.3 As suas massas devem ser incluídas na distribuição da massa e na posição do centro de gravidade da seção da carroçaria.

3.5 A distribuição da massa na seção da carroçaria deve ser efetuada com base nas seguintes considerações:

3.5.1 A seção da carroçaria na sua totalidade (segmentos, estruturas de ligação, elementos estruturais adicionais, apoios) deve ser tida em consideração na verificação da validade das duas fórmulas

3.5.2 Quaisquer massas fixadas nos segmentos devem ser colocadas e fixadas à seção da carroçaria de modo a que não produzam um efeito nem de reforço, nem de carga adicional, nem ainda de limitação da deformação.

3.5.3 Se os sistemas de retenção dos ocupantes fizerem parte do equipamento do modelo de veículo em causa, as massas dos ocupantes são consideradas como descrito apêndice A.

4 Método de ensaio

O método de ensaio é o descrito no item 3 do apêndice A para um veículo completo.

5 Avaliação dos ensaios

5.1 Um modelo de veículo é homologado se todas as seções da carroçaria preencherem satisfatoriamente os requisitos do ensaio de capotagem.

5.2 Se uma das seções da carroçaria não preencher os requisitos do ensaio, o modelo de veículo em questão não é homologado.

5.3 Se uma seção da carroçaria preencher os requisitos do ensaio de capotagem, considera-se que cada um dos segmentos que a constituem preencheu satisfatoriamente os requisitos do ensaio de capotagem e o seu resultado pode ser citado e utilizado em futuros pedidos de homologação, desde que a relação das massas desses segmentos permaneça a mesma nas superestruturas subsequentes.

5.4 Se uma seção da carroçaria não cumprir os requisitos do ensaio de capotagem, considera-se que todos os segmentos dessa seção da carroçaria não os preenchem também, mesmo que o espaço residual só tenha sido invadido num segmento.

6 Documentação relativa aos ensaios de capotagem de seções da carroçaria O relatório de ensaio deve conter os seguintes dados:

6.1 A construção das seções da carroçaria sujeitas a ensaio (dimensões, materiais, massas, posição do centro de gravidade, métodos de construção);

6.2 A conformidade dos ensaios realizados com o disposto no presente apêndice;

6.3 O cumprimento, ou não, dos requisitos constantes do item 2.1 do apêndice 3;

6.4 A avaliação individual das seções da carroçaria e dos seus segmentos;

6.5 A identificação do modelo de veículo, da superestrutura, das seções da carroçaria sujeitas a ensaio, dos ensaios efetuados e do pessoal responsável pelos ensaios e pela respectiva avaliação.

Apêndice C (Apêndice 3)
ENSAIO QUASE ESTÁTICO DE CARGA DE SEÇÕES DA CARROÇARIA
ENQUANTO MÉTODO DE HOMOLOGAÇÃO EQUIVALENTE

1 Dados e informações complementares

O presente método de ensaio utiliza as seções da carroçaria como unidades de ensaio, sendo cada uma delas construída a partir de um mínimo de dois segmentos do veículo a avaliar e estando ligadas através de elementos estruturais representativos. Se o fabricante optar por este método de ensaio, devem ser fornecidas as seguintes informações complementares ao serviço técnico:

1.1 Desenhos das seções da carroçaria a submeter a ensaio;

1.2 Valores da energia a absorver pelos segmentos individuais da superestrutura, assim como os valores de energia que pertencem às seções da carroçaria a ensaiar;

1.3 Verificação dos requisitos relativos à energia (ver item 4.2.) depois de completados, com resultados satisfatórios, os ensaios quase estáticos de carga de seções da carroçaria.

2 Preparação das seções da carroçaria

2.1 O fabricante deve ter em conta os requisitos constantes dos itens 3.1, 3.2, e 3.3 do apêndice B ao projetar e produzir as seções da carroçaria para ensaio.

2.2 As seções da carroçaria devem estar equipadas com um gabarito do espaço residual, em pontos específicos nos quais se considere que os montantes ou outros elementos estruturais são suscetíveis de penetrar, em consequência da deformação prevista.

3 Método de ensaio

3.1 Cada seção da carroçaria a ensaiar deve ser sólida e estar fixada de forma segura ao banco de ensaio por meio de um quadro rígido de modo que:

3.1.1 A deformação plástica local não ocorra em torno dos pontos de fixação;

3.1.2 A localização e o método de fixação não inibam a formação e o trabalho previsto das zonas e rótulas plásticas.

3.2 Para aplicação da carga à seção da carroçaria devem ser tidas em conta as seguintes regras:

3.2.1 A carga deve ser uniformemente distribuída ao longo da longarina lateral do teto através de uma viga rígida, mais longa que a longarina lateral, para simular o solo durante um ensaio de capotagem, e cuja geometria se adapte à da longarina.

3.2.2 A direção da carga aplicada (ver figura 8) deve formar com o plano longitudinal vertical médio do veículo um ângulo com a inclinação (α) determinada através da seguinte fórmula:

$$\alpha = 90^\circ - \arcsin\left(\frac{800}{H_c}\right)$$

sendo:

H_c = altura (em mm) da longarina lateral do teto do veículo, medida a partir do plano horizontal no qual repousa.

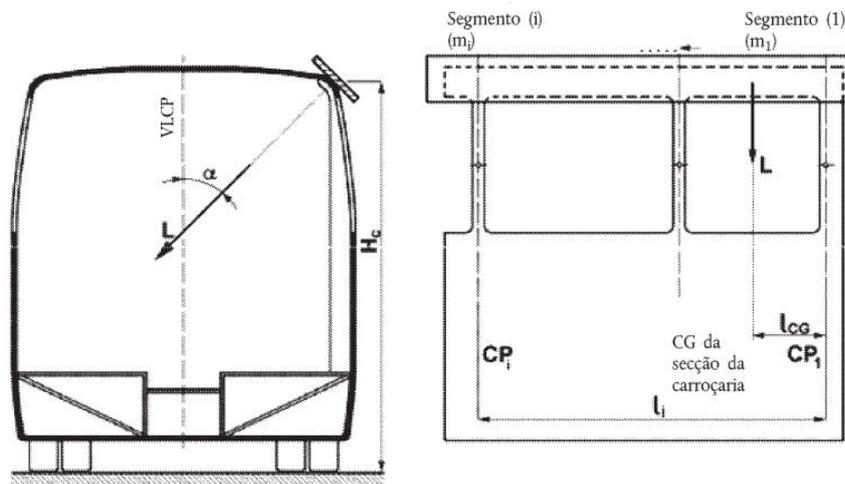


Figura 8 – Aplicação da carga na seção da carroçaria

3.2.3 A carga é aplicada à viga no centro de gravidade da seção da carroçaria e é determinada em função das massas dos segmentos e dos elementos estruturais que os ligam. Utilizando os símbolos da figura 8, a posição da seção da carroçaria pode ser determinada pela seguinte fórmula:

$$l_{CG} = \frac{\sum_{i=1}^s m_i l_i}{\sum_{i=1}^s m_i}$$

sendo:

s = número dos segmentos na seção da carroçaria;

m_i = massa do segmento (segmento «i»);

l_i = distância do centro de gravidade do segmento «i» a um ponto-pivô selecionado [o plano médio do segmento(1) na figura 8];

l_{CG} = distância do centro de gravidade da seção da carroçaria ao mesmo ponto-pivô selecionado.

3.2.4 A carga é aumentada gradualmente através de medições da deformação associada a intervalos discretos até à deformação final (d_u), quando o espaço residual for invadido por um dos elementos da seção da carroçaria.

3.3 Ao traçar o diagrama carga-deformação:

3.3.1 A frequência de medição deve ser tal que produza uma curva contínua (ver figura 9);

3.3.2 Os valores da carga e da deformação são medidos simultaneamente;

3.3.3 A deformação da longarina lateral do teto com carga é medida no plano e na direção da carga aplicada;

3.3.4 A carga e a deformação devem ser medidas com uma exatidão de ± 1 por cento.

4 Avaliação dos resultados do ensaio

4.1 A partir do diagrama carga-deformação, determina-se a energia real absorvida pela seção da carroçaria (E_{BS}), expressa pela área abaixo da curva (ver figura 9).

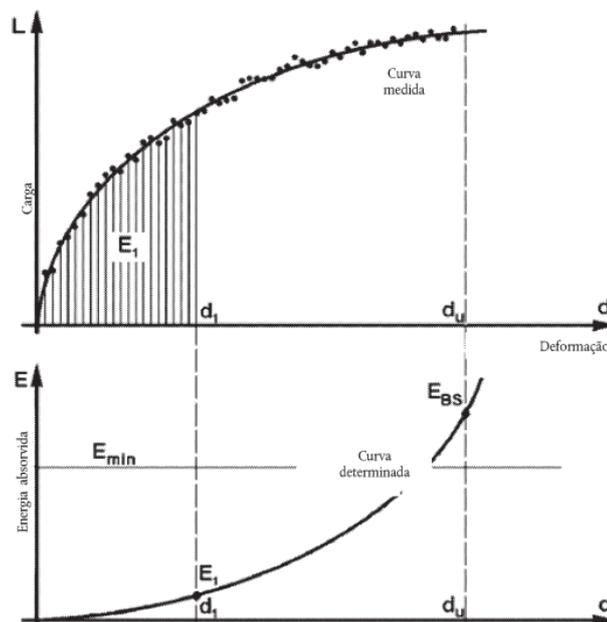


Figura 9 – Energia absorvida pela seção da carroçaria determinada em função do diagrama carga-deformação

4.2 A energia mínima que deve ser absorvida pela seção da carroçaria (E_{min}) deve ser determinada do seguinte modo:

4.2.1 A energia total (E_T) a absorver pela superestrutura é:

$$E_T = 0,75 Mg\Delta h$$

sendo:

$M = M_k$, massa do veículo sem carga em ordem de marcha, se não existirem sistemas de retenção dos ocupantes; ou

M_t , massa total efetiva do veículo, quando equipado com sistemas de retenção dos ocupantes;

g = constante gravitacional;

Δh = movimento vertical (em metros) do centro de gravidade do veículo durante um ensaio de capotagem.

4.2.2 A energia total « E_T » deve ser distribuída entre os segmentos da superestrutura proporcionalmente às massas respectivas:

$$E_i = E_T \frac{m_i}{M}$$

sendo:

E_i = a energia absorvida pelo segmento «i»;

m_i = massa do segmento «i».

4.2.3 A energia mínima que deve ser absorvida pela seção da carroçaria (E_{min}) corresponde à soma da energia dos diferentes segmentos que compõem a seção da carroçaria:

$$E_{min} = \sum_{i=1}^s E_i$$

4.3 Considera-se que a seção da carroçaria preenche satisfatoriamente os requisitos do ensaio de carga se:

$$E_{BS} \geq E_{min}$$

Nesse caso, considera-se que todos os segmentos que constituem essa seção da carroçaria preenchem satisfatoriamente os requisitos do ensaio quase estático de carga, podendo esses resultados ser citados em pedidos futuros de homologação, desde que os segmentos que formam a carroçaria não tenham de suportar uma massa superior na superestrutura subsequente.

4.4 Considera-se que a seção da carroçaria não preenche satisfatoriamente os requisitos do ensaio de carga se:

$$E_{BS} < E_{min}$$

Nesse caso, considera-se que todos os segmentos que constituem a seção da carroçaria em causa não preencheram satisfatoriamente os requisitos do ensaio, mesmo que o espaço residual só tenha sido invadido num segmento.

4.5. O modelo de veículo é homologado se todas as seções da carroçaria sujeitas a ensaio de carga cumprirem os requisitos de forma satisfatória.

5 Documentação dos ensaios quase estáticos de carga de seções da carroçaria.

O relatório de ensaio deve ser conforme ao disposto no item 6 do Apêndice B.

Apêndice D (Apêndice 3)
MÉTODO DE CÁLCULO E SIMULAÇÃO NUMÉRICA

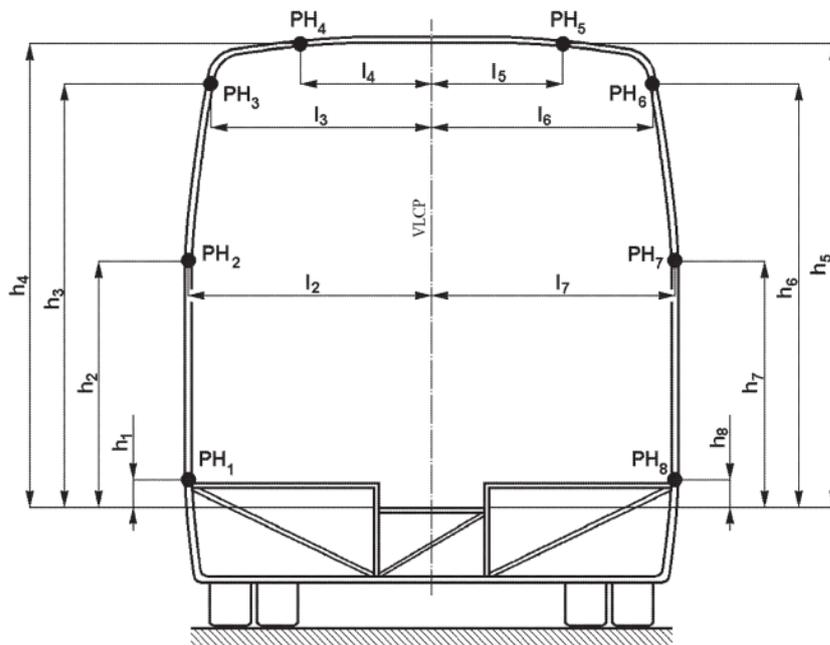
Apêndice D1
CÁLCULO QUASE ESTÁTICO BASEADO NO ENSAIO DE COMPONENTES
ENQUANTO MÉTODO DE HOMOLOGAÇÃO EQUIVALENTE

1 Dados e informações complementares

Se o fabricante optar por este método de ensaio, devem ser fornecidas as seguintes informações ao serviço técnico:

1.1 A localização das zonas plásticas (PZ) e das rótulas plásticas (PH) na superestrutura;

1.1.1 As diferentes PZ e PH devem ser identificadas separadamente no desenho da superestrutura, indicando-se a sua forma geométrica e localizações definidas (ver figura 10);



2

3 Figura 10 – Parâmetros geométricos das rótulas plásticas num segmento

3.1.1 Os elementos estruturais entre as PZ e as PH podem ser tratados como partes rígidas ou elásticas no cálculo, e o seu comprimento deve ser determinado pelas dimensões reais no veículo;

3.2 Os parâmetros técnicos das PZ e das PH;

3.2.1 A geometria transversal dos elementos estruturais nos quais as PZ e as PH estão localizadas;

3.2.2 O tipo e a direção da carga aplicados a cada PZ e PH;

3.2.3 O diagrama carga-deformação de cada uma das PZ e das PH. O fabricante pode utilizar as características estáticas ou dinâmicas das PZ e das PH para o cálculo, mas não deve misturar as características estáticas e dinâmicas num só cálculo.

3.3 Uma declaração da energia total (E_T) a absorver pela superestrutura.

3.4 Uma breve descrição técnica do algoritmo e do programa informático que são utilizados para o cálculo.

4 Requisitos para o cálculo quase estático

4.1 Para o cálculo, a superestrutura completa é matematicamente modelada como uma estrutura portante e deformável, tendo em consideração o seguinte:

4.1.1 A superestrutura deve ser modelada como uma única unidade com carga que contém PZ e PH deformáveis, ligadas por elementos estruturais apropriados;

4.1.2 A superestrutura deve ter as dimensões reais da carroçaria. O contorno interno dos montantes da parede lateral e da estrutura de teto deve ser utilizado ao verificar o espaço residual;

4.1.3 As PH devem utilizar as dimensões reais dos montantes e dos elementos estruturais nos quais estão localizadas.

4.2 As cargas aplicadas no cálculo devem cumprir os seguintes requisitos:

4.2.1 A carga ativa é aplicada segundo o plano transversal que contém o centro de gravidade da superestrutura (veículo), perpendicular ao plano longitudinal vertical médio (VLCP) do veículo. A carga ativa é aplicada na longarina lateral do teto por meio de um plano absolutamente rígido, que se estende em ambos os sentidos, para além da longarina e de qualquer estrutura adjacente.

4.2.2 No início da simulação, o plano de aplicação da carga toca na longarina lateral na parte mais afastada do plano longitudinal vertical médio. Os pontos de contato entre o plano de aplicação da carga e a superestrutura devem ser definidos para assegurar uma transferência exata da carga.

4.2.3 A carga ativa deve formar um ângulo α com o plano longitudinal vertical médio do veículo (ver figura 11) determinado pela fórmula:

$$\alpha = 90^\circ - \arcsin\left(\frac{800}{H_c}\right)$$

sendo:

H_c = altura (em mm) da longarina lateral do teto do veículo, medida a partir do plano horizontal no qual repousa;

A direção da ação da carga ativa não deve ser modificada durante o cálculo.

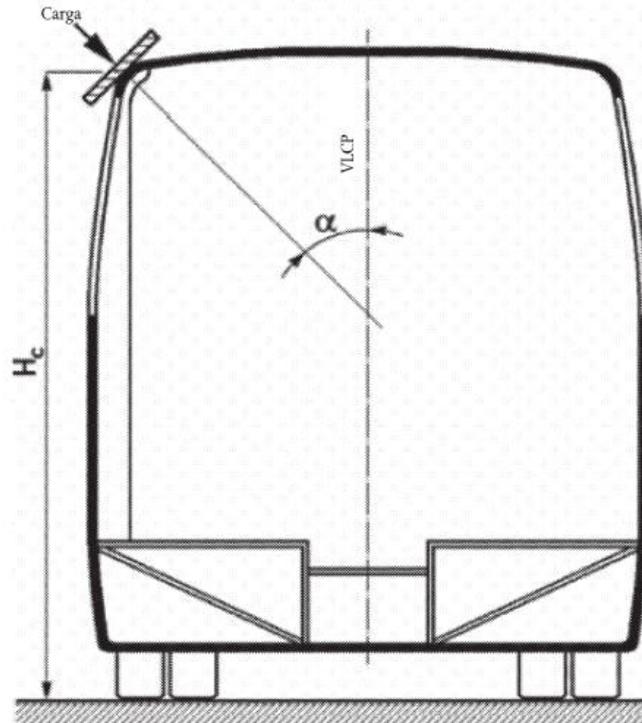


Figura 11 – Aplicação da carga à superestrutura

4.2.4 A carga ativa é aumentada em pequenos incrementos, sendo a deformação total da estrutura calculada para cada incremento de carga. O número de incrementos de carga deve ser superior a 100, sendo os incrementos quase idênticos entre si.

4.2.5 Durante o processo de deformação, é admissível que o plano de aplicação da carga, para além de um movimento de translação paralelo, gire em torno do eixo de interseção do plano de aplicação da carga com o plano transversal que contém o centro de gravidade, a fim de acompanhar a deformação assimétrica da superestrutura.

4.2.6 As forças passivas (de apoio) são aplicadas no quadro rígido do piso de maneira a não influenciar a deformação da estrutura.

4.3 O algoritmo do cálculo e o programa informático devem cumprir os seguintes requisitos:

4.3.1 O programa deve ter em consideração a não linearidade das características das rótulas plásticas e as deformações estruturais em grande escala;

4.3.2 O programa deve ter em conta a gama de trabalho das zonas plásticas e das rótulas plásticas e interromper o cálculo se a deformação das rótulas plásticas ultrapassar a gama de trabalho admitida;

4.3.3 O programa deve poder calcular a energia total absorvida pela superestrutura para cada incremento de carga;

4.3.4 Para cada incremento de carga, o programa deve poder demonstrar a configuração deformada dos segmentos que formam a superestrutura e a posição de cada parte rígida susceptível de invadir o espaço residual. O programa deve poder identificar a etapa de incremento de carga em que o espaço residual é pela primeira vez invadido por uma das partes estruturais rígidas.

4.3.5 O programa deve ser capaz de detectar e identificar a etapa de incremento de carga em que teve início o colapso global da superestrutura; ou seja, quando a superestrutura se torna instável e a deformação continua sem um aumento da carga.

5 Avaliação do cálculo

5.1 A energia total (E_T) a absorver pela superestrutura é determinada através da seguinte fórmula:

$$E_T = 0,75 Mg\Delta h$$

sendo:

$M = M_k$, massa do veículo sem carga em ordem de marcha, se não existirem sistemas de retenção dos ocupantes; ou

M_t , massa total efetiva do veículo, quando equipado com sistemas de retenção dos ocupantes;

g = constante gravitacional;

Δh = movimento vertical (em metros) do centro de gravidade do veículo durante um ensaio de capotagem.

5.2 A energia absorvida (E_a) da superestrutura é calculada na etapa de carga progressiva em que o espaço residual for pela primeira vez invadido por qualquer uma das partes estruturais rígidas.

5.3 O modelo de veículo é homologado se $E_a \geq E_T$

6 Documentação relativa ao cálculo quase estático

O relatório relativo ao cálculo deve incluir os seguintes elementos:

- 6.1 A descrição mecânica pormenorizada da superestrutura que contém a localização das PZ e PH e que define as partes rígidas e elásticas;
- 6.2 Os dados obtidos nos ensaios e os gráficos resultantes;
- 6.3 Uma declaração que ateste se efetivamente o requisito do item 2.1. do apêndice 3 foi ou não cumprido;
- 6.4 A identificação do modelo de veículo e do pessoal responsável pelos ensaios, pelos cálculos e pela avaliação.

Apêndice D2

SIMULAÇÃO INFORMÁTICA DO ENSAIO DE CAPOTAGEM NO VEÍCULO COMPLETO ENQUANTO MÉTODO DE HOMOLOGAÇÃO EQUIVALENTE

1 Dados e informações complementares

É possível demonstrar que a superestrutura cumpre os requisitos especificados nos itens 2.1.1. e 2.1.2. do apêndice 3 através de um método de simulação informática aprovado pelo serviço técnico. Se o fabricante optar por este método de ensaio, devem ser fornecidas as seguintes informações ao serviço técnico:

- 1.1 Uma descrição do método de simulação e do método de cálculo utilizados, bem como uma identificação precisa e clara do software de análise, incluindo, pelo menos, o produtor, a designação comercial, a versão utilizada e os contatos pormenorizados do desenvolvedor.
- 1.2 Os modelos materiais e os dados de entrada utilizados.
- 1.3 Os valores para as massas definidas, o centro de gravidade e os momentos de inércia utilizados no modelo matemático.

2 O modelo matemático

O modelo deve permitir descrever o comportamento físico real do processo de capotagem, em conformidade com o apêndice A. O modelo matemático deve ser construído, e as hipóteses formuladas, de tal modo que o cálculo dê resultados conservativos. O modelo deve ser construído com base nos seguintes pressupostos:

2.1 O serviço técnico pode exigir que sejam levados a efeito ensaios com a estrutura real do veículo para comprovar a validade do modelo matemático e verificar os seus pressupostos;

2.2 A massa total e a posição do centro de gravidade utilizados no modelo matemático são idênticas às do veículo a homologar;

2.3 A distribuição da massa no modelo matemático deve corresponder ao veículo a homologar. Os momentos de inércia utilizados no modelo matemático devem ser calculados com base nesta distribuição da massa.

3 Requisitos relativos ao algoritmo, ao programa de simulação e ao equipamento informático

3.1 A posição do veículo em equilíbrio instável no ponto de capotagem e a sua posição aquando do primeiro contato com o pavimento devem ser especificadas. O programa de simulação pode começar na posição de equilíbrio instável, mas deve começar, o mais tardar, aquando do primeiro contato com o pavimento.

3.2 As condições iniciais aquando do primeiro contato com o solo são definidas utilizando a variação de energia potencial a partir da posição de equilíbrio instável.

3.3 O programa de simulação funciona, pelo menos, até que a deformação máxima seja alcançada.

3.4 O programa de simulação deve fornecer uma solução estável na qual o resultado é independente dos incrementos de tempo.

3.5 O programa de simulação pode calcular os componentes de energia para o equilíbrio energético a cada incremento de tempo.

3.6 As parcelas de energia não física introduzidas na modelação [por exemplo, modos espúrios («hourglass») e amortecimento interno] não devem exceder 5 % da energia total a qualquer momento.

3.7 O coeficiente de atrito utilizado no ponto de contato com o solo deve ser validado por resultados de ensaio físicos, ou o cálculo deve demonstrar que o coeficiente de atrito aplicado produz resultados conservativos.

3.8 Os eventuais contatos físicos entre quaisquer peças do veículo devem ser tidos em conta no modelo matemático.

4 Avaliação da simulação

4.1 Após ter sido verificado que os requisitos estabelecidos para o programa de simulação foram cumpridos, a simulação das modificações da geometria da

estrutura interior e a comparação com a forma geométrica do espaço residual podem ser avaliadas conforme foi definido nos itens 2.1. e 2.2. do apêndice 3.

4.2 Se o espaço residual não tiver sido invadido durante a simulação de capotagem, a homologação é concedida.

4.3 Se o espaço residual tiver sido invadido durante a simulação de capotagem, a homologação é recusada

5 Documentação

5.1 O relatório relativo à simulação deve incluir as seguintes informações:

5.1.1 Todos os dados e as informações indicados no item 1 do presente apêndice;

5.1.2 Um desenho que mostre o modelo matemático da superestrutura;

5.1.3 Uma indicação dos valores de ângulo, da velocidade e da velocidade angular na posição de equilíbrio instável do veículo e na posição de primeiro contato com o solo;

5.1.4 Uma tabela com o valor da energia total e os valores de todas as suas parcelas (energia cinética, energia interna, modos espúrios), a incrementos de tempo de 1 ms, que abranjam, pelo menos, o intervalo entre o primeiro contato com o solo e o instante em que a deformação máxima é atingida;

5.1.5 O coeficiente de atrito com o solo assumido;

5.1.6 Gráficos ou dados que demonstrem, de forma adequada, que os requisitos previstos nos itens 2.1.1 e 2.1.2 do apêndice 3 foram cumpridos. Considera-se que estes requisitos foram cumpridos se for apresentado um gráfico, em função do tempo, da distância entre o contorno interno da estrutura deformada e o contorno externo do espaço residual.

5.1.7 Uma declaração atestando o cumprimento ou incumprimento dos requisitos especificados nos itens 2.1.1 e 2.1.2 do apêndice;

5.1.8 Todas as informações e todos os dados necessários para a identificação inequívoca do modelo de veículo, da sua superestrutura, do modelo matemático da superestrutura e do cálculo em si.

5.2 Recomenda-se que o relatório inclua igualmente diagramas que mostrem a estrutura deformada no momento em que a deformação máxima ocorre, apresentando uma visão global da superestrutura e das zonas em que se registre uma grande deformação plástica.

5.3 Mediante solicitação do serviço técnico, devem ser incluídas informações complementares no relatório.