



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia

Ricardo António da Cunha Ribeiro

Modelação em reconstituição de acidentes

Ricardo António da Cunha Ribeiro Modelação em reconstituição de acidentes

UMinho | 2014

dezembro de 2014





Universidade do Minho  
Escola de Engenharia

Ricardo António da Cunha Ribeiro

Modelação em reconstituição de acidentes

Dissertação de Mestrado  
Ciclo de Estudos Integrados Conducentes ao  
Grau de Mestre em Engenharia Mecânica

Trabalho efetuado sob a orientação do  
Professor Doutor Jorge José Gomes Martins

# DECLARAÇÃO

Nome: Ricardo António da Cunha Ribeiro

Endereço eletrónico: a54778@alunos.uminho.pt / ribeiro.bar@gmail.com Telefone: 927713477

Número do Bilhete de Identidade: 13759780

Título dissertação:

Modelação em reconstituição de acidentes

Orientadores:

Professor Doutor Jorge Martins

Ano de conclusão: 2014

Designação do Mestrado ou do Ramo de Conhecimento do Doutoramento:

Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica

Nos exemplares das teses de doutoramento ou de mestrado ou de outros trabalhos entregues para prestação de provas públicas nas universidades ou outros estabelecimentos de ensino, e dos quais é obrigatoriamente enviado um exemplar para depósito legal na Biblioteca Nacional e, pelo menos outro para a biblioteca da universidade respetiva, deve constar uma das seguintes declarações:

1. É AUTORIZADA A REPRODUÇÃO PARCIAL DESTA TESE/TRABALHO (indicar, caso tal seja necessário, nº máximo de páginas, ilustrações, gráficos, etc.), APENAS PARA EFEITOS DE INVESTIGAÇÃO, , MEDIANTE DECLARAÇÃO ESCRITA DO INTERESSADO, QUE A TAL SE COMPROMETE;

Universidade do Minho, \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_\_\_

Assinatura: \_\_\_\_\_

## **AGRADECIMENTOS**

A concretização desta dissertação teve o apoio, físico ou psicológico, imprescindível de várias pessoas. É a estas que me dirijo, nesta secção, para agradecer pela contribuição não só a este documento, mas também ao processo de formação académica precedente.

Em primeiro lugar quero especialmente agradecer ao meu orientador Professor Doutor Jorge Martins por todos os conhecimentos partilhados, paciência e compreensão ao longo das tarefas práticas e disponibilidade sempre que necessário.

Ao meu pai e aos meus irmãos Paulo e Marta, pelo lugar e importância que têm na minha vida, pela confiança que sempre depositaram em mim e pela paciência que tiveram para comigo.

Aos meus companheiros de casa e amigos, André, Pedro, João, David, Renato, João e todos os outros da longa lista, pelos momentos que nunca esquecerei ao longo deste meu percurso.

Por último, mas será sempre a primeira quero dedicar esta dissertação à minha mãe e agradecer pela educação e valores me transmitidos.



## RESUMO

O processo de reconstituição de acidentes pode ser complexo, existem vários estudos e metodologias que permitem analisar a colisão e reconstruir o acidente.

O CRASH3 é uma destas metodologias, para análise de colisões rodoviárias. O programa é composto por dois métodos distintos e independentes, análise da trajetória e análise de danos. A análise de danos é a parte no qual a dissertação se foca.

O que se pretende é criar uma base de dados com informações tiradas dos *crash tests*, e introduzir esta informação num programa existente e a atualizar. O programa permite uma análise ao veículo automóvel acidentado através do cálculo da energia dissipada aquando da colisão.

O modelo CRASH3 original tem um conjunto de coeficientes genéricos (diferentes para cada zona do carro, frente, lado e traseira), para os quais os veículos são agrupados em classes e é atribuindo o respetivo coeficiente para cada classe. O que se pretende fazer é determinar os coeficientes para cada modelo de veículo existente, melhorando a precisão do programa. Os parâmetros fundamentais que permitem que tal aconteça são os coeficientes de rigidez A e B, em conjunto com os coeficientes de Campbell  $b_o$  e  $b_n$ , do qual os anteriores derivam.

As informações obtidas para a criação desses dados e adquirir os coeficientes, são referentes aos *crash tests* realizados por duas instituições, a NHTSA e a Euro NCAP.

A NHTSA publica os dados das deformações referentes aos seus testes, estando disponíveis e acessíveis a qualquer entidade.

Nos *crash tests* realizados pela Euro NCAP, os únicos dados fornecidos pela instituição são os vídeos dos seus ensaios, pelo que foi necessário desenvolver um método de análise a partir destes. Com recurso a um programa de análise de imagens, o Photoshop, procedeu-se à análise das imagens retiradas dos vídeos de *crash tests* de modo a determinar o perfil de dano para cada modelo.

O *crash test* frontal da Euro NCAP é realizado com uma barreira deformável, pelo que foi necessário determinar uma barreira deformada (após o *crash test*) padrão para cada segmento de A a E, pois os veículos analisados aos testes Euro NCAP pertencem a esses grupos. O cálculo destes valores foi conseguido a partir da comparação dos veículos testados pelo NHTSA (que

apresenta dados de deformação em *crash tests* sobre barreira não deformável) e pela NCAP (*crash test* com barreira deformável).

Foi também determinado a restituição para a zona frontal do veículo, que corresponde à percentagem de recuperação do veículo e da barreira deformável após a colisão. O valor do *rebound* entrará nos cálculos dos coeficientes.

Após realizadas as medições ao perfil de dano para cada modelo de veículo e obtidos os coeficientes, estes são introduzidos na base de dados.

Os *crash tests* analisados foram somente relativos à colisão frontal, pelo que o programa só analisa colisões frontais.



## ABSTRACT

Accident reconstruction process can be complex, there are several studies and methodologies that allow us to analyze the collision and reconstruct the accident.

The Crash3 is one of these methodologies for analysis of road crashes. The program has two distinct and independent methods, the trajectory analysis and damage analysis. The damage analysis is the part in which the dissertation focuses.

The aim is to create a database with information taken from the crash tests, and enter this information into an existing program and updating it. The program allows an analysis of the crash vehicle, by calculating the energy dissipated during the collision.

The original model Crash3 has a generic set of coefficients for specific car zones according to which the vehicles are grouped in classes, and is assigning the respective coefficient for each class. What was intended to do was to determine the coefficients for each existing vehicle, improving program accuracy. The fundamental parameters for this to happen, are the stiffness coefficients A and B together with the Campbell coefficients  $b_0$  and  $b_1$ , from which the former are derived.

The information obtained for the creation of these data, are from the crash tests conducted by two institutions, NHTSA and the Euro NCAP.

The NHTSA publishes data of their tests, and are available and accessible to any entity.

In crash tests conducted by Euro NCAP, the only data provided by the institution are the videos of their tests, so it was necessary to develop a method of analysis from these. Using an image analysis program, Photoshop, the analysis of images taken of crash test videos, was made in order to determine the damage profile for each model. As the Euro NCAP test is carried out with a deformable barrier it was necessary to establish a standard deformable barrier for each segment from A to E. All the vehicles analyzed from Euro NCAP belong to the segments A thru E.

Standard deformed barriers were used to analyze the vehicle's damage profile.

The rebound towards the front area of the vehicle was also determined, this corresponds to the percentage recovery of the material structure after the collision, the shoulder of the vehicle, the value it will rebound in the calculation of coefficients. After the measurements of the damage

profile for each model of vehicle, and the coefficients obtained, these are introduced into the database.

The crash tests that were analyzed by both institutions were frontal collision, therefore the program only analyzes frontal collisions.

# ÍNDICE

Agradecimentos .....	i
Resumo .....	iii
Abstract .....	v
Índice.....	vii
Índice de Figuras.....	ix
Índice de tabelas.....	xiii
Glossário de Símbolos e Abreviaturas .....	xv
1 Introdução.....	1
1.1 Objetivos .....	2
2 HISTORIAL E ESTADO DA ARTE.....	7
2.1 Classificação de Veículos Automóveis.....	7
2.1.1 ISO 3833-1977 .....	7
2.2 Segmentos .....	10
2.3 Crash tests (ensaios de colisão) .....	13
2.3.1 Introdução .....	13
2.3.2 Instituições que realizam/regulam testes de colisão .....	14
2.3.3 Protocolo NHTSA .....	15
2.3.3.1 Crash test frontal realizado pela NHTSA .....	16
2.3.3.2 Crash test Lateral realizado pela NHTSA .....	18
2.3.4 Protocolo Euro NCAP .....	20
2.3.4.1 Método de ensaio do <i>crash test</i> frontal da Euro NCAP .....	22
2.3.4.2 Método de ensaio do <i>crash test</i> lateral da Euro ncap .....	29
2.4 Crash3 .....	33
2.4.1 Pressupostos do Crash3 e recomendações.....	35

2.4.1.1	Análise de Danos.....	35
2.5	Energia dissipada num impacto contra barreira deformável.....	42
3	Procedimentos e análise experimental.....	45
3.1	Introdução.....	45
3.2	Base de dados NHTSA.....	45
3.2.1	Manipulação dos dados.....	46
3.3	Programa.....	46
3.4	Excel.....	47
3.5	Barreira deformada padrão para ensaio frontal euro ncap.....	48
3.5.1	Sobreposição das barreiras e barreira deformada padrão.....	49
3.6	Restituição.....	52
3.7	Análise aos <i>crash tests</i> da Euro NCAP.....	53
4	Resultados e discussão dos resultados.....	57
4.1	Restituição.....	57
4.2	Barreira Deformada Padrão.....	61
4.3	Medições e coeficientes dos veículos analisadas da Euro NCAP.....	61
4.4	Aplicação Prática com o Programa Crash3.....	62
5	Conclusões e trabalhos futuros.....	67
6	Referências.....	71
	ANEXO A.....	75
	ANEXO B.....	83
	Apêndice 1.....	113
	Apêndice 2.....	117
	Apêndice 3.....	127

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 - Comparação entre <i>sedan</i> , <i>station wagon</i> e <i>hatchback</i> do modelo Ford Focus [4]. A, B, C e D representam os pilares da carroçaria. ....	9
Figura 2.2 – Representação do <i>crash test</i> frontal realizado pela NHTSA (Full Frontal Fixed Barrier).....	16
Figura 2.3 - Disposição das câmaras no <i>crash test</i> frontal NHTSA (vista cima) [22]. ....	17
Figura 2.4 - Disposição das câmaras no <i>crash test</i> frontal NHTSA (vista lateral) [22].....	17
Figura 2.5 - <i>Crash test</i> lateral segundo as especificações da FMVSS 214.....	18
Figura 2.6 – <i>Crash test</i> lateral segundo as especificações da FMVSS 214 [23]. ....	18
Figura 2.7 - Disposição das câmaras no <i>crash test</i> lateral NHTSA.....	19
Figura 2.8 - <i>Crash test</i> frontal realizado pela Euro NCAP ( <i>frontal offset deformable barrier</i> ) [28]. .....	22
Figura 2.9 - Disposição das câmaras no <i>crash test</i> frontal da Euro NCAP (vista de cima). ....	25
Figura 2.10 - Disposição das câmaras no <i>crash test</i> frontal da Euro NCAP (câmaras 5 e 6). ....	25
Figura 2.11 - Disposição das câmaras no <i>crash test</i> frontal da Euro NCAP (câmaras 9 e 10). ..	25
Figura 2.12 - Disposição das câmaras no <i>crash test</i> frontal da Euro NCAP (câmaras 12 e 13). 25	
Figura 2.13 - Barreira deformável utilizada no <i>crash test</i> da Euro NCAP e estrutura interna.....	27
Figura 2.14 – <i>Crash test</i> lateral realizado pela Euro NCAP. ....	30
Figura 2.15 - Barreira deformável móvel ( <i>MDB</i> ). ....	32
Figura 2.16 - Forma linear assumida da resistência à deformação.....	36
Figura 2.17 - Intersecção entre a velocidade de impacto e a deformação.....	38
Figura 2.18 - Perfil e dimensões do dano. ....	41
Figura 3.1 - Representação esquemática do <i>Cmed</i> no perfil de dano. ....	48
Figura 3.2 - Barreira deformável após o <i>crash test</i> do Fiat Panda 2011 realizado para a Euro NCAP. ....	49
Figura 3.3 - Contornos das barreiras deformadas para o segmento A. A linha azul em forma de trapézio é a barreira deformada padrão para o segmento. ....	49
Figura 3.4 - Contornos das barreiras deformadas para o segmento B. A linha azul em forma de trapézio é a barreira deformada padrão para o segmento. ....	50
Figura 3.5 - Contornos das barreiras deformadas para o segmento C. A linha azul em forma de trapézio é a barreira deformada padrão para o segmento. ....	50

Figura 3.6 - Contornos das barreiras deformadas para o segmento D. A linha azul em forma de trapézio é a barreira deformada padrão para o segmento.....	51
Figura 3.7 - Contornos das barreiras deformadas para o segmento E. A linha azul em forma de trapézio é a barreira deformada padrão para o segmento.....	51
Figura 3.8 - Sequência do crash test frontal Euro NCAP para o Volkswagen Golf 2012 (vista de cima).....	54
Figura 3.9 - Crash tests do Volkswagen Golf 2012 pela Euro NCAP (antes da colisão).....	54
Figura 3.10 – <i>Crash test</i> do Volkswagen Golf 2012 pela Euro NCAP (deformação máxima antes do desvio).....	55
Figura 3.11 - Sobreposição dos dois <i>frames</i> do Volkswagen Golf 2012 no AdobePhotoshop (na figura à direita o frame 1 têm <i>opacidade de 50%</i> ).....	55
Figura 3.12 – Referências à profundidade de deformação no Volkswagen Golf 2012. AS distâncias C1 a C6 são as profundidades da deformação. ....	56
Figura 3.13 - Área a laranja corresponde ao perfil de dano do veículo Volkswagen Golf 2012... 57	57
Figura 4.1 - Representação gráfica das energias dissipadas dos <i>crash tests</i> analisados do Euro NCAP e NHTSA para percentagens de restituição de 0%, 30%, 32,5% e 35% (lista de veículos numerados na tabela 4.1).....	60
Figura 4.2 - Sobreposição das barreiras deformadas padrão, segmento A a E.....	61
Figura 4.3- Execução do programa para o modelo Ford Focus 2008 <i>crash test</i> da NHTSA. ....	63
Figura 4.4 - Execução do programa para o modelo Volkswagen Golf 2012 crash test da Euro NCAP. ....	63
Figura 4.5 - Execução do programa anterior, para um veículo equivalente ao Ford Focus 2008.64	64
Figura 0.1 - Aluminium honeycomb orientation - Mobile Deformable Barrier (Euro NCAP) [42] .....	119
Figura 0.2 - Dimension of Aluminium Honeycomb Cells (Euro NCAP) [42]. ....	119
Figura 0.3 - Impactor dimensions - mobile deformable barrier (Euro NCAP) [29].....	120
Figura 0.4 – Bloco que formam o impactor (Euro NCAP) [29]. ....	120
Figura 0.5 - Curvas força-deflexão a que os blocos do impactor devem estar sujeitos (Euro NCAP) [26].....	122
Figura 0.6 – Barreira deformável Euro NCAP - posição dos furos para a montagem e dimensões [25].....	122
Figura 0.7 - Barreira deformável Euro NCAP - Eixo alveolado e dimensões [25].....	123

Figura 0.8 - Barreira deformável Euro NCAP - Dimensões (vista lateral) [25]. ..... 123

Figura 0.9 - Posição das câmaras no crash test lateral Euro NCAP (vista cima)..... 125

Figura 0.10 - Posição das câmaras no crash test lateral Euro NCAP (vista lateral)..... 126





## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 - Classificação pela NHTSA dos veículos de passageiros segundo a classe e a massa [4].....	9
Tabela 2.2 – Direção do disparo das câmaras de alta velocidade [25]. .....	26
Tabela 2.3 - Coeficientes obtidos por Campbell para a zona frontal do veículo [30]. .....	35
Tabela 2.4 – Variação dos valores de $b_0$ [32].....	38
Tabela 4.1 - Comparação entre os <i>crash tests</i> da Euro NCAP com uma restituição de 32,5% e da NHTSA e as respetivas energias dissipadas na colisão. ....	58
Tabela 4.2 - Diferença das energias dissipadas nos crash tests entre a NHTSA e Euro NCAP para uma restituição de 30%, de 32,5% e 35% e o respetivo somatório.....	59
Tabela 4.3 - Excerto dos resultados obtidos para alguns dos veículos analisados .....	62
Tabela A.1 - Valores obtidas a partir das medições às imagens analisadas (Anexo B) .....	77
Tabela A.2 - Valores da tabela 6.1 com equivalência à escala real e aplicando a restituição de 32,5 %.....	78
Tabela A.3 - Veículos analisados e respectivas larguras de deformação, $C_{med}$ e Coeficientes. .	80
Tabela AP1.4 - Comparação entre os sistemas de classificação [5] [6] [1] [40].....	115
Tabela AP3.5 - Coeficientes de rigidez retirados do Aidamage3 para veículos de passageiros [41]. .....	129
Tabela AP3.6 - Coeficientes de rigidez retirados do Aidamage3 para os restantes veículos não-incluídos na tabela 6.5[41]. .....	130



## GLOSSÁRIO DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

<i>Símbolos</i>	<i>Definição</i>	<i>Unidade</i>
<i>F</i>	<i>Força por unidade de largura</i>	<i>N/m</i>
<i>A</i>	<i>Força máxima por unidade de largura resultante em não deformação</i>	<i>N/m</i>
<i>B</i>	<i>Relação entre a força e a deformação</i>	<i>N/m<sup>2</sup></i>
<i>G</i>	<i>Relação entre A e B</i>	<i>N</i>
<i>C</i>	<i>Profundidade da deformação / Deformação residual</i>	<i>m</i>
<i>L</i>	<i>Largura da área deformada</i>	<i>m</i>
<i>b<sub>o</sub></i>	<i>Limite de velocidade de impacto na qual não ocorre deformação</i>	<i>m/s</i>
<i>b<sub>i</sub></i>	<i>Inclinação em unidade de velocidade por unidade de comprimentos</i>	<i>1/s</i>
<i>E</i>	<i>Energia</i>	<i>J</i>
<i>v</i>	<i>Velocidade</i>	<i>m/s</i>
<i>m</i>	<i>Massa</i>	<i>kg</i>

### *Abreviaturas*

<i>NHTSA</i>	<i>National Highway Traffic Safety Administration</i>
<i>EURONCAP</i>	<i>European New Car Assessment Programme</i>
<i>NASS</i>	<i>National Automotive Sampling System</i>
<i>SMAC</i>	<i>Simulation Model of Automobile Collisions</i>



# 1 INTRODUÇÃO

---



# 1 INTRODUÇÃO

Os acidentes rodoviários são colisões na via pública que envolvem pelo menos um veículo a motor, e podem levar à incapacidade e à fatalidade dos indivíduos envolvidos, além dos custos financeiros quer para a sociedade quer para as entidades envolvidas. São vários os fatores que contribuem para isto acontecer, como os direta ou indiretamente imputados aos condutores, como má visibilidade, encadeamento, distrações, excesso de velocidade, e outros. Outro grande fator provém dos fracos sistemas de segurança dos veículos. A investigação torna-se necessária quer para fins jurídicos, quer para a prevenção no averiguar de responsabilidades, por isso a investigação de acidentes e a reconstrução desses é necessária.

A reconstituição de acidentes rodoviários é uma área não só de interesse técnico-científico mas sobretudo de interesse legal e social. As ferramentas e metodologias de reconstituição de acidentes são utilizadas para a determinação da responsabilidade na origem dos acidentes, mas também podem ser usadas como suporte à definição de políticas, procedimentos e melhoramentos na proteção do ocupante do carro, com vista a reduzir as taxas de sinistralidade rodoviária.

O processo de reconstituição de acidentes pode ser complexo pois existem vários fatores que afetam a colisão. Existem vários estudos e metodologias que permitem analisar a colisão e reconstruir o acidente.

O Crash3 é uma destas metodologias, é um programa com origem nos Estados Unidos da América para análise de colisões rodoviárias. O programa tem dois métodos distintos e independentes, sendo eles a análise da trajetória e análise de danos.

O método de análise da trajetória requer medições detalhadas do cenário do acidente e do veículo.

O método de dano permite através da energia dissipada aquando a colisão, obter uma estimativa da velocidade de impacto. Têm a sua base num conjunto de ensaios de colisão (*crash tests*) realizados, e apresenta um conjunto de coeficientes genéricos para cada agrupamento de veículos com base nas suas características em comum. Atualmente estes coeficientes já estão ultrapassados [32], além de que existem centenas de modelos diferentes.

O CRASH3 é limitado na análise da colisão de dois veículos num único impacto, bem como um veículo a colidir com um objeto fixo e sem movimento. Uma limitação do programa é

que ele assume que todos os veículos dentro uma série de distância entre eixos distintos possuem basicamente as mesmas características. Os seus dados são agrupados em diferentes categorias de veículos separadas em tabelas internas, sendo estas utilizadas durante o processo de análise [1]. Mas não há justificação aparente para este agrupamento e testes demonstram que existem grandes variações dessas propriedades entre veículos no mesmo grupo com distância entre eixo semelhantes [1].

Os extensivos dados de *crash tests* atualmente disponíveis a partir de fabricantes de veículos e laboratórios de ensaio permite a determinação de critérios de rigidez específicas para muitos veículos concebidos de forma semelhante (estruturas semelhantes), o que aumenta a precisão

Existem várias entidades que realizam *crash tests*, nos Estados Unidos da América, a NHTSA regula e avalia os sistemas de segurança dos veículos motorizados, disponibilizando os dados técnicos obtidos numa base de dados de livre acesso.

O ponto de partida para uma análise mais detalhada no cálculo da energia dissipada, foi a base de dados da NHTSA,

A base de dados da NHTSA servi-o de ponto de partida para uma análise mais detalhada no cálculo da energia dissipada, de modo a poder analisar cada modelo detalhadamente em vez de grupos de veículos com características em comum.

Na Europa o seu homólogo é a Euro NCAP que avalia os veículos a serem comercializados na União Europeia, mas ao contrário da NHTSA, esta não faculta os seus dados. Portanto tornou-se necessário criar um método para os analisar a partir dos vídeos dos seus *crash tests*.

O objetivo é incorporar os dados da NHTSA e da Euro NCAP, numa base de dados e criar um programa que permita a análise a veículos acidentados reais.

## **1.1 OBJETIVOS**

Os principais objetivos do presente trabalho são:

Adquirir conhecimentos acerca do comportamento das estruturas de veículos rodoviários aquando uma colisão.

Melhorar o programa existente que analisa a estrutura de veículos deformados através da energia dissipada na colisão, a metodologia é baseada programa CRASH3.



Criar uma base de dados com informações do comportamento das estruturas dos modelos de vários veículos, através da análise a *crash tests* realizados pelas várias instituições

Analisar e determinar o *rebound* na zona frontal, correspondente à percentagem de recuperação de material no ressalto do *crash test*.

Criar um método de análise aos *crash tests* da Euro NCAP a partir da informação existente, sobretudo os vídeos dos testes.

Criar barreiras deformadas padrão para a análise de cada segmento de A a E e aplicável na análise aos *crash tests* da Euro NCAP.

Determinar os coeficientes de rigidez e dos coeficientes  $b_0$  e  $b_1$  para os *crash tests* da NHTSA e Euro NCAP.



## **2 Historial e Estado de Arte**

---



## 2 HISTORIAL E ESTADO DA ARTE

### 2.1 CLASSIFICAÇÃO DE VEÍCULOS AUTOMÓVEIS

A classificação de automóveis surgiu com o progresso. Consoante iam sendo construídos novos e diferentes veículos houve a necessidade de os diferenciar e agrupar, levando os governos e outras entidades privadas, como os fabricantes, a desenvolverem sistemas de classificação.

Estes sistemas de classificação são utilizados para inúmeros propósitos incluindo, regulamentação, descrição, categorização, entre outros. Um exemplo prático é a aplicação de taxas nos veículos por parte do governo, consoante a estrutura, motorização, tipo de combustível, emissões, etc.

#### 2.1.1 ISO 3833-1977

O Sistema Internacional criou a norma ISO 3833-1977 de modo a classificar e uniformizar os termos e definições a utilizar para os diferentes tipos de veículos rodoviários. Esta norma foi aprovada em todo o mundo exceto na Austrália, Índia e Estados Unidos da América. A norma define os termos relacionados para os tipos de veículos rodoviários de acordo com o *design* e especificações técnicas [2].

Os termos e definições da norma ISO 3833-1977 para veículos de passageiros são os seguintes:

*Saloon/Sedan*. Estrutura fechada (caixa fechada), com ou sem divisão central para as janelas laterais, tejadilho rijo, uma porção do tejadilho pode ser aberto. Compartimento com duas filas para 4 ou mais lugares. Com duas ou mais portas, pode também haver uma porta traseira. Quatro ou mais janelas laterais.

*Convertible saloon*. Estrutura com capacidade para ser aberta (descapotável), a estrutura da parede lateral está fixa e o restante é retrátil (tejadilho/capota retrátil), com 4 ou mais lugares em pelo menos duas filas. Com 2 ou 4 portas laterais e 4 ou mais janelas.

*Pullman saloon (pullman sedan, executive limousine)*. Estrutura fechada, pode haver uma divisão entre a frente e os assentos traseiros.

Station wagon (carrinha). Estrutura fechada, a traseira é desenhada de modo a proporcionar um maior volume interior. O tejadilho é fixo e rígido, uma porção desse pode ser aberto, com 4 ou mais lugares divididos por 2 filas. Com 2 ou 4 portas laterais e uma traseira. Quatro ou mais janelas laterais. Em Portugal é vulgarmente conhecido por carrinha.

Coupé. Estrutura fechada, tejadilho fixo e rígido, contudo uma porção deste pode ter a capacidade de abrir. Compartmento para 4 ou mais lugares. Com duas portas, e possibilidade de haver um na traseira, 2 ou mais janelas laterais. Atualmente alguns fabricantes produzem *coupé* de 4 portas.

Convertible (open tourer, roadster, spider). Estrutura aberta, o tejadilho pode ser macio ou rígido, além de poder removido e depois colocado no lugar ou então ser de recolher. Compartmento para 2 ou mais lugares, com 2 ou 4 portas, 2 ou mais janelas laterais.

Multipurpose passenger car. A estrutura pode ser de caixa fechada, aberta, ou com capacidade para ser aberta. Este veículo é desenhado com o propósito de facilitar o transporte ocasional de bens. 1 ou mais lugares.

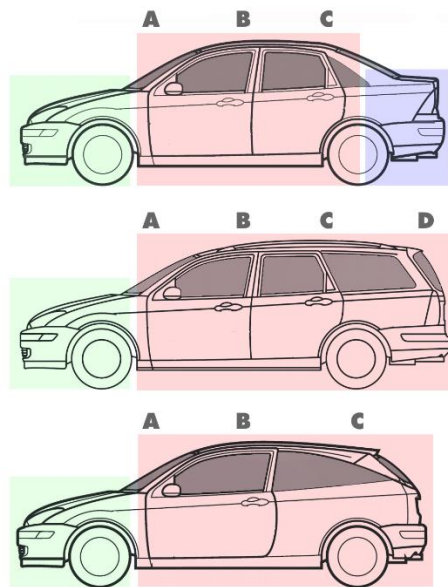
**Outras denominações amplamente utilizadas na indústria automóvel mais que não se encontram na norma ISO 3833-1977:**

Hatchback. O *hatchback* é um *design* automóvel onde a mala está integrado no habitáculo dos passageiros. Normalmente este modelo é identificados pela mala e a janela traseira formarem uma única parte contrariamente ao sedan [3]. Têm versões deste 3 a 5 portas, contando com a traseira. O *hatchback* é bastante parecido com o *station wagon*, diferencia-se principalmente pelo volume na parte traseira mais reduzido (Figura 2.1). Atualmente existem veículos com este tipo de estrutura para vários segmentos, desde veículo mais pequenos (*supermin*) até carros executivos e alguns carros desportivos.

SUV. Sigla de *Sport Utility Vehicle*, é um veículo similar a um *station wagon*, mas contruído com um chassis de *light-truck*, uma estrutura monobloco. O termo SUV é definido como um veículo largo que está concebido para superfícies irregulares, mas é frequentemente utilizado em estradas citadinas e autoestradas.

MPV. Sigla de *Multi Purpose Vehicle*, é um tipo de *design* automóvel similar a uma carrinha, com o projetada para o uso pessoal. São geralmente mais altos que os sedans e são desenhado para promover o máximo de espaço interior. Existem vários tipos de *MPV* como *mini MPV*

derivado de *supermini car*, *compact MPV* derivado de *small family car* e *large MPV* com o comprimento de aproximadamente um *large family car*.



**Figura 2.1 - Comparação entre *sedan*, *station wagon* e *hatchback* do modelo Ford Focus [4]. A, B, C e D representam os pilares da carroçaria.**

A *National Highway Traffic Safety Administration* (NHTSA) categoriza segundo a tara, que é o veículo com equipamento *standard*, incluindo o depósito de combustível, óleo, líquido de arrefecimento na máxima capacidade (Tabela 2.1) [5].

No apêndice 1, estão os termos equivalentes de vários tipos de classificações.

**Tabela 2.1 - Classificação pela NHTSA dos veículos de passageiros segundo a classe e a massa [4].**

Classificação NHTSA	Código	Tara
Passenger cars mini	PC/Mi	1500–1999 lb (680–907 kg)
Passenger cars light	PC/L	2000–2499 lb (907–1134 kg)
Passenger cars compact	PC/C	2500–2999 lb (1134–1360 kg)
Passenger cars medium	PC/Me	3000–3499 lb (1361–1587 kg)
Passenger cars heavy	PC/H	3500 lb (1588 kg) and over
Sport utility vehicles	SUV	-
Pickup trucks	PU	-
Vans	VAN	-

## 2.2 SEGMENTOS

A classificação por segmentos não é muito precisa, e habitualmente é feita por comparação de veículos. Na indústria automóvel os segmentos referem-se ao comprimento e equipamentos do carro, onde segmento E usualmente corresponde aos veículos mais luxuosos que oferecem melhor ornamentos e equipamentos.

A Comissão Europeia a pensar no consumidor definiu uma classificação por segmentos, classificação esta que têm como fatores a dimensão dos veículos, estrutura e preço. Tendo em conta o mercado Europeu os veículos de passageiros foram divididos em segmentos sendo estes o A, B, C, D, E, F, J, M e S [6] [7] [8].

### **Segmento A (*A-Segment: minicars*)**

O segmento A é composto pelos automóveis mais pequenos do mercado, com motores pequenos e muito eficientes, com um máximo de 4 ou 5 lugares. O seu comprimento normalmente varia entre 2,7 e 3,7 metros [9].

Alguns modelos inseridos neste segmento são: Fiat 500, Renault Twingo, Opela Adam, Kia Picanto, etc.

### **Segmento B (*B-Segment: small cars*)**

É o segmento seguinte aos *mini cars*, e têm foco em vários tipos de consumidores desde, pessoas solteiras, ou começo de famílias. Este tipo de segmento é originário da Europa, derivado da crise do petróleo no início da década de 70, onde foi necessário introduzir automóveis mais pequenos e eficientes [10].

Os veículos neste segmento têm um comprimento entre 3,7 e 4,2 metros. Mas pode variar porque existem fabricantes que constroem versões *sedan* dos *hatchback* neste seguimento, onde obtém mais uns centímetros no comprimento.

Alguns modelos inseridos neste segmento são: Ford Fiesta, Renault Clio, Volkswagen Polo, Opel Corsa, Toyota Yaris, etc.

### **Segmento C (*C-Segment: medium cars*)**

O comprimento usual dos veículos neste segmento está entre 4,2 e 4,6 metros, dependendo da carroçaria, que varia desde *hatchback*, *sedan*, *station wagon* e ainda algumas versões *cabriolet*.



Este segmento têm como alvo jovens famílias com 4 a 5 elementos, que tencionem espaço, conforto e qualidade.

É um dos segmentos com mais vastas gamas de modelos, já que quase todos os fabricantes a nível mundial possuem um veículo neste segmento, Juntamente com o segmento B representam mais de metade das vendas mundiais [11] [12].

Alguns modelos inseridos neste segmento são: Volkswagen Golf, Ford Focus, Audi A3, Seat Leon, Opel Astra, Renault Megane, etc.

### **Segmento D (*D-Segment: large cars*)**

Os automóveis que pertencem a este segmento são maiores, mais amplos e com melhores performances que os anteriores. A grande particularidade da carroçaria deste segmento limita-se a sedan de 4 portas e *station wagon*, tirando algumas exceções. O seu comprimento varia entre 4,6 e 4,8 metros. Os veículos neste segmento são considerados os verdadeiros *sedan*, porque os veículos do segmento C são maioritariamente *hatchbacks* [13].

Alguns modelos inseridos neste segmento são: BMW 3 series, Audi A4, Mercedes-Benz C Class, Peugeot 508, Volkswagen Passat, etc.

### **Segmento E (*E-Segment: executive cars*)**

Os veículos nesta categoria são projetados para serem grandes e com luxuosos interiores com materiais de qualidade, muitas vezes pensado para executivos em ascensão que necessitam de bastante espaço e movimentam bastante enquanto fazem negócio ou famílias com grandes rendimentos que preferem a carroçaria *station wagon*. Comprimento dos veículos compreendido entre 4,8 e 5 metros. Para alguns fabricantes, este é o expoente máximo dos seus modelos, e nem todas as marcas têm um modelo neste segmento.

A oferta de veículos neste segmento é reduzido na Europa. Para alguns fabricantes este é o expoente máximo dos seus modelos e nem todas as marcas possuem um neste segmento [14].

Alguns modelos inseridos neste segmento são: BMW 5 series, Mercedes-Benz E Class, Audi A6, Volvo S80, etc.

### **Segmento F (*F-Segment: luxury cars*)**

Este segmento, também chamado de luxury cars, incorpora veículos de passageiros maiores que os do segmento E, é o nível extremo de potência e luxo, sendo por isso o segmento

com os veículos mais caros do mercado, com a exceção de alguns modelos do segmento S (*sport cars*).

Os veículos costumam ter um comprimento de aproximadamente 5 metros, sendo a sua carroçaria habitualmente do tipo sedan, com 5 lugares, mas com especial foco no espaço dos assentos traseiros, porque o público alvo deste tipo de segmento são pessoas com grandes remunerações e que normalmente ocupam altos cargos em entidades públicas ou privadas e que normalmente não conduzem, como chefes de estado, celebridades ou importantes CEO. Na grande maioria das marcas que detêm modelos neste segmento, são construtoras que se dedicam ao fabrico exclusivo de carros de luxo.

Alguns modelos inseridos neste segmento são: Mercedes-Benz S Class, BMW 7 series, Audi A8, Rolls-Royce Ghost, Bentley Mulsanne, etc.

### **Segmento J (*J-Segment: sport utility cars*)**

É o segmento dos veículos *sport utility cars*. Inclui os veículos SUV e os *off-road*.

Veículo incluídos neste segmento:

Renault Captur, Peugeot 2008, Opel Mokka, Nissan Juke,

Nissan Qashqai, Volkswagen Tiguan, Kia Sportage, Peugeot 3008, BMW X1,

BMW X5, Mercedes-Benz M Class, Range Rover Sport, Volkswagen Touareg,

Range Rover, AUDI Q7, Toyota Land Cruiser, Mercedes-Benz GL Class,

### **Segmento M (*M-Segment: multi purpose cars*)**

Segmento correspondente aos *Multi Purpose Cars*. Na classificação Americana corresponde aproximadamente a várias categorias MPV, *Minivan*, *Cargo Van* e *Passanger Van*. Mas na Europa apenas veículos para transporte de passageiros são considerados neste segmento.

O sub-segmento mais popular é o *compact*. Apesar de uma correta definição não existir, geralmente compact utility vehicles têm um comprimento entre 4,1 e 4,7 metros. A oferta deste segmento é bastante grande, dependendo da altura e da largura, os veículos podem incidir na categoria de small e large.

Alguns modelos inseridos neste segmento são: Citroen C3 Picasso, Ford B-Max, Opel Meriva, Seat Altea

Renault Scenic, Ford C-Max, Volkswagen Touran, Peugeot 5008

Volkswagen Sharan, Seat Alhambra, Mercedes-Benz Vito?, Ford S-Max, Volkswagen Sharan,  
Volkswagen Transporter, Fiat Ducato, Lancia Voyager

### **Segmento S (*S-Segment: sport coupés*)**

O segmento S, também chamado de *sport cars* é o sexto segmento definido pela Comissão Europeia. No mercado Norte-Americano este segmento englobe os Grand-Tourer, Convertible, Supercar e Roadster.

A oferta neste segmento é bastante abrangente indo de modelos mais baratos como o Volkswagen Sirocco, Mazda MX5 e AUDI TT, a modelos mais luxuosos como Mercedes-Benz SLK ou BMW Z4, também inclui os supercarros como Lamborghini ou Bugatti.

## **2.3 CRASH TESTS (ENSAIOS DE COLISÃO)**

### **2.3.1 INTRODUÇÃO**

Os *crash tests* são ensaios de colisão realizados a veículos a motor, com o propósito de avaliar a segurança do automóvel e seus sistemas. Estes testes são de forma destrutiva, com forma a assegurar que o veículo cumpre as normas de *design* na resistência à colisão.

O objetivo destes testes é simular um acidente rodoviário, num ambiente controlado e assim obter informações acerca do comportamento do veículo aquando uma colisão. As informações obtidas nestes testes são dados importantes para a conceção de novos veículos no que diz respeito ao desenvolvimento de sistemas de segurança.

A maioria dos ensaios de colisão consistem no impacto de veículos automóveis contra barreiras indeformáveis/rígidas ou barreiras deformáveis, sendo os mais comuns os de impacto frontal e impacto lateral. Nestes últimos anos têm sido introduzidos outro tipo de testes como *pole side test*, *whiplash*, *rollover*.

Atualmente existem várias instituições que realizam *crash tests*, normalmente financiadas por governos. As maiores e as referidas na dissertação são, a NHTSA (*National Highway Traffic Safety Administration*) nos Estados Unidos da América e a Euro NCAP (*European New Car Assessment Programme*) na União Europeia.

### 2.3.2 INSTITUIÇÕES QUE REALIZAM/REGULAM TESTES DE COLISÃO

- NHTSA (*National Highway Traffic Safety Administration*)

A NHTSA é uma agência federal do governo Norte-Americano, integrada no Departamento de Transportes, foi oficialmente fundada em 1970, com o intuito de defender o interesse público e proteger os consumidores. Está encarregue de regular os padrões de segurança na indústria automóvel e dos transportes nos Estados Unidos da América [15] [16].

Com o objetivo de reduzir fatalidades, feridos e custos associados com acidentes rodoviários, a NHTSA realiza pesquisa, informa o público e realiza iniciativas de proteção ao consumidor. Investiga defeitos e fiscaliza o cumprimento das normas de segurança aos fabricantes, autoriza ou bloqueia a importação de veículos. E ajuda a regular outros parâmetros como a economia de combustível, etc [15].

Como parte das suas atividades, a NHTSA têm o objetivo de escrever e fazer cumprir a *Federal Motor Vehicle Safety Standards* (FMVSS). Os FMVSS são regulamentos do governo que especificam o *design*, a construção, o desempenho e a durabilidade dos veículos a motor e componentes relacionados com a segurança. São a contrapartida dos regulamentos da ONU para a harmonização dos regulamentos para veículos, sendo estes reconhecidos pela maioria dos países, mas não no caso dos E.U.A.

O regulamento FMVSS 208 especifica os requerimentos para a proteção dos ocupantes de veículos em colisões e o FMVSS 214 especifica os requerimentos para a proteção dos ocupantes em impactos laterais.

- EURO NCAP (*European New Car Assessment Programme*)

O Euro NCAP é um programa europeu de avaliação de desempenho da segurança automóvel, situado em Bruxelas. Foi fundado em 1997 pelo *Transport Research Laboratory* para o Departamento de Transportes do Reino Unido. Atualmente é apoiado por sete governos europeus e pela Comissão Europeia, além de várias organizações do sector automóvel e dos consumidores em cada país da União Europeia. [17]

Os protocolos para a realização dos *crash tests* da Euro NCAP têm a sua origem nas diretivas europeias que definem os parâmetros de realização destes testes, bem como os requisitos mínimos de segurança, no qual nenhum veículo é permitido falhar. Mas estas diretivas não providenciam nenhum incentivo para encorajar os fabricantes a melhorar os seus

parâmetros de segurança, na ausência de disso a Euro NCAP foi criada. Os fabricantes que escolhem exceder os parâmetros de segurança são reconhecidos por isso. [18]

A Euro NCAP define protocolos para a realização dos ensaios de colisão e outros testes de segurança, que são realizados em seis laboratórios localizados na Europa. Publica relatórios e resultados dos seus testes, numa forma acessível e compreensiva para o consumidor [19].

Existem outros programas similares e que têm por base o EURO NCAP, como na Austrália e Nova Zelândia (ANCAP), na América Latina (Latin NCAP) e na China com o C-NCAP. [20]

### **2.3.3 PROTOCOLO NHTSA**

As *Federal Motor Vehicle Safety Standards* (FMVSS) são normas federais do governo norte-americano que regulam o *design*, a performance e a durabilidade dos veículos a motor, além de também regularem os componentes de sistemas de segurança e futuros *designs*.

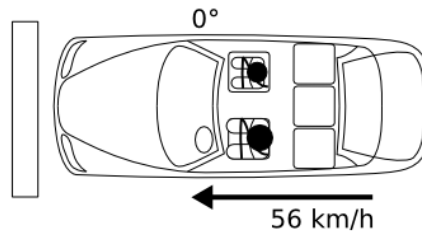
O primeiro regulamento criado foi o FMVSS 209, adotado em 1967 e tem sido consecutivamente atualizado. Estipula os parâmetros para os cintos de segurança para veículos rodoviários.

Estas normas federais de regulação estabelecem o requisitos mínimos de desempenho para segurança dos veículos a motor ou componentes dos equipamentos dos veículos, de modo a garantir que os condutores fiquem protegidos contra riscos provenientes do *design*, da construção ou da performance dos veículos a motor, que possam originar ferimentos ou fatalidades no caso de acidente.

A NHTSA realiza *crash tests* frontais segundo dois protocolos: o FMVSS 208 e o NCAP (*New Car Assessment Program*). A única diferença entre os dois diz respeito às velocidades de colisão.

Os *crash tests* laterais são regulados segundo a norma FMVSS 214.

### 2.3.3.1 CRASH TEST FRONTAL REALIZADO PELA NHTSA



**Figura 2.2 – Representação do *crash test* frontal realizado pela NHTSA (Full Frontal Fixed Barrier)**

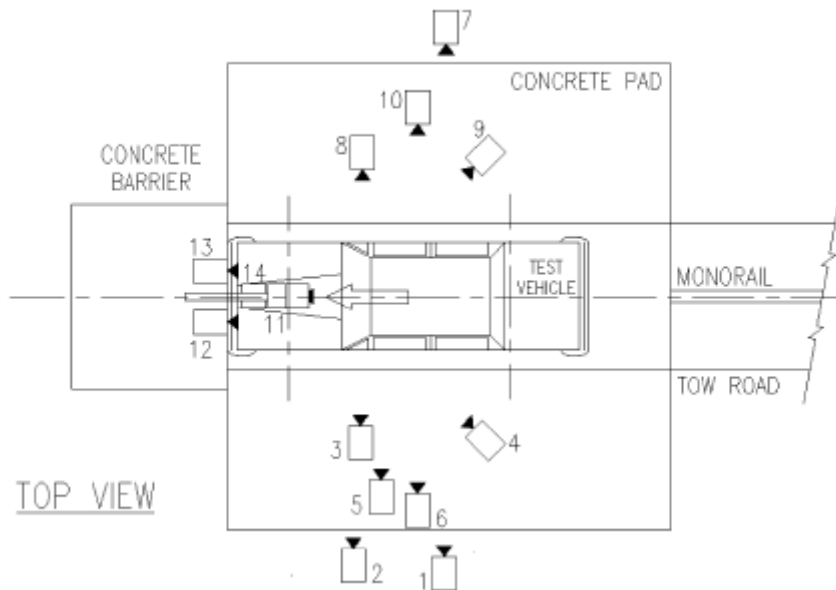
O *crash test* frontal realizado pela NHTSA foi o primeiro teste a ser criado e regularizado pelo governo Norte-Americano. O objetivo deste teste é a simulação colisões no mundo real, nomeadamente entre dois veículos, como também entre um veículo e um objeto fixo.

O veículo atinge uma parede rígida indeformável, ficando deformado na zona frontal (Figura 2.2). O impacto afeta toda a zona frontal do veículo, é o equivalente ao impacto entre dois veículos, no qual cada um deles se move à mesma velocidade de impacto.

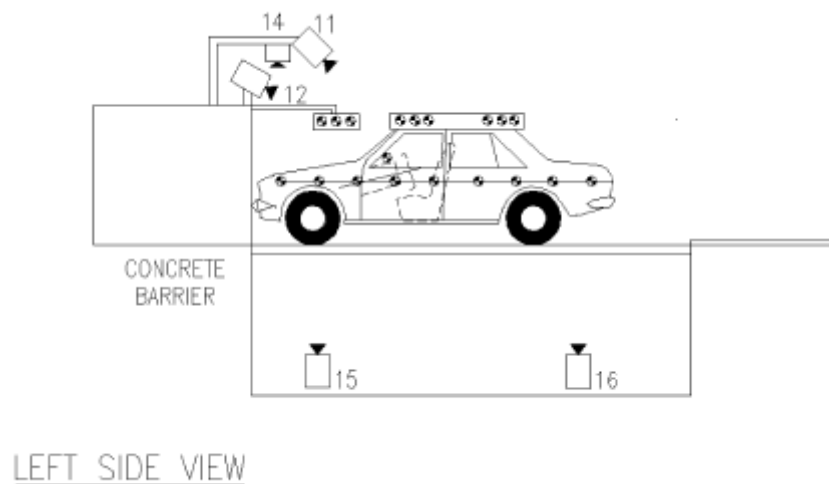
A velocidade de impacto varia segundo os dois protocolos, o FMVSS 208 e o NCAP. Segundo a FMVSS 208, a velocidade para o teste é de 48 km/h (30 mph), segundo o NCAP realiza-se a 56 km/h (35 mph). Atualmente a maior parte dos testes são realizados segundo o NCAP, salvo algumas exceções. A diferença de 8 km/h (5 mph) dos testes concebidos pela NCAP produz um aumento de 36% na energia da colisão. O aumento da velocidade permite distinguir as características da deformação mais facilmente [21].

#### 2.3.3.1.1 POSIÇÃO DAS CÂMARAS

No ensaio de colisão frontal realizado pela NHTSA, as câmaras estão dispostas segundo os seguintes diagramas.



**Figura 2.3 - Disposição das câmaras no *crash test* frontal NHTSA (vista cima) [22].**



**Figura 2.4 - Disposição das câmaras no *crash test* frontal NHTSA (vista lateral) [22].**

Na Figura 2.3 e na Figura 2.4 está representado a colocação e orientação das câmaras a registar o *crash test*. Estas câmaras são uma combinação de câmaras *high-speed color digital* e *high-speed color 16 mm motion picture* ou todas câmaras *high-speed digital*. Todas as câmaras operam a 1000 fps pelo menos 10ms antes do contacto com a barreira. As câmaras 1 e 2, são *Real time cameras* e operam a 24 fps [22].

### 2.3.3.2 CRASH TEST LATERAL REALIZADO PELA NHTSA

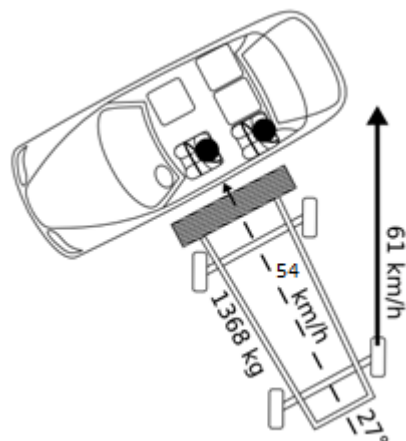


Figura 2.5 - *Crash test* lateral segundo as especificações da FMVSS 214.

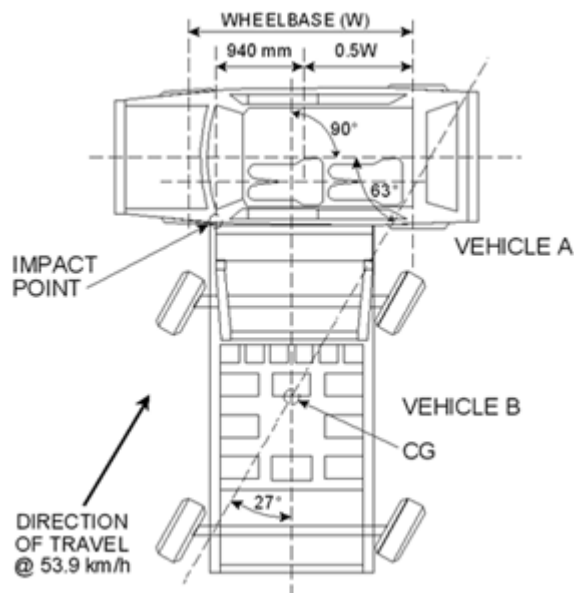


Figura 2.6 – *Crash test* lateral segundo as especificações da FMVSS 214 [23].

O *crash test* lateral realizado pela NHTSA foi o criado de modo a avaliar a segurança em colisões com veículos lateral. O objetivo deste teste é a simulação colisões laterais entre dois veículos.

No *crash test*, a estrutura móvel contém uma barreira deformável, que atinge o veículo que se encontra imóvel, a estrutura móvel encontra-se a um ângulo de 27° em relação ao plano perpendicular horizontal do veículo (Figura 2.5 e Figura 2.6.).

A *mobile deformable barrier* (MDB), é o conjunto da estrutura móvel mais barreira e atinge o veículo a uma velocidade 54 km/h.

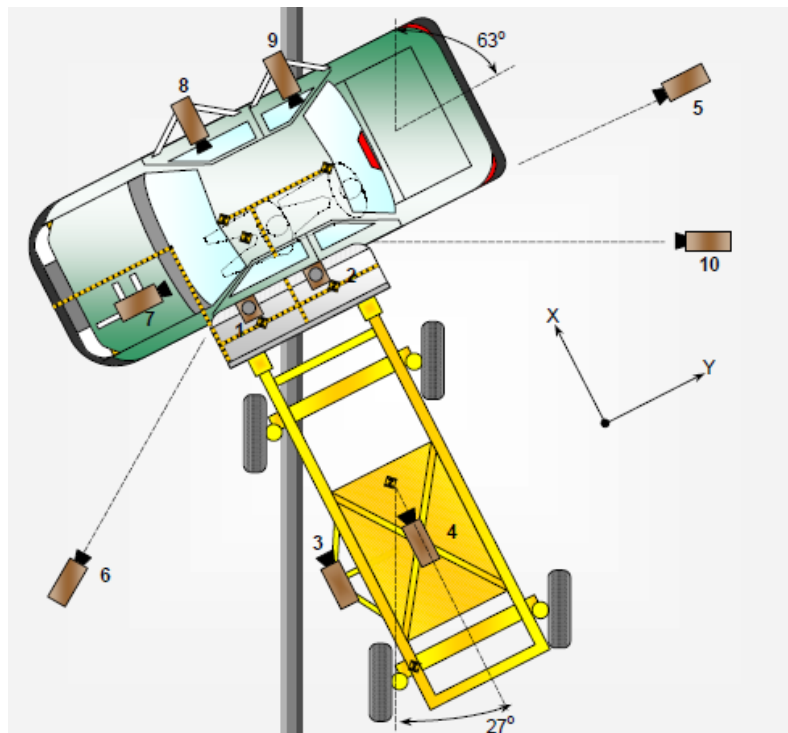
#### Características da MDB [24]:



- A massa total do MDB é de 1361 kg;
- Comprimento total da MDB é de 4115 mm;
- Altura da MDB é de 559 mm;
- Largura da Barreira é de 1251 mm;
- Ponto de impacto fica localizado a 940 mm a partir do centro do entre-eixo, no plano perpendicular ao entre-eixo.

### 2.3.3.2.1 POSIÇÃO DAS CÂMARAS

No ensaio de colisão lateral realizado pela NHTSA, as câmaras estão dispostas segundo o seguinte diagrama.



**Figura 2.7 - Disposição das câmaras no *crash test* lateral NHTSA.**

Na Figura 2.7 está representado a disposição e a orientação das câmaras a documentar o *crash test*.

As câmaras utilizadas na documentação do teste são do tipo high speed digital, capazes de operar com um mínimo de 1000 fps, e são no total 10. A câmara 10 é a exceção, é uma câmara de 24 fps, utilizada para gravar em tempo real a colisão num ângulo panorâmico [24].

### 2.3.4 PROTOCOLO EURO NCAP

O parlamento europeu aprovou a diretiva 96/79/CE, uma das diretivas específicas do processo de homologação comunitária criada pela diretiva 70/156/CEE. Esta diretiva estabelece os requisitos para o ensaio de colisão frontal.

A diretiva 96/27/CE foi também aprovada pelo parlamento europeu, sendo também outra das diretivas específicas da diretiva 70/156/CEE, que estabelece os requisitos para o ensaio de colisão lateral. [25] [26]

Os requisitos adotados pelas diretivas foram baseados nos resultados de estudos efetuados pelo Comité Europeu de Veículos Experimentais, que permitam estabelecer os critérios de ensaio mais representativos dos acidentes rodoviários.

Ambas as diretivas não são aplicáveis a veículos rececionados antes de 1 de Outubro de 1998.

A diretiva 96/79/CE aplica-se aos veículos a motor da categoria M<sub>1</sub> cuja massa total autorizada não exceda 2,5 toneladas, com exceção dos veículos construídos em várias fases e produzidos em quantidades que não excedam as fixadas para uma pequena série. A pedido do fabricante, poderão ser rececionados veículos de massa superior e veículos construídos em várias fases.

A diretiva 96/27/CE presente aplica-se no caso de colisão lateral da estrutura do habitáculo dos veículos das categorias M<sub>j</sub> e N<sub>j</sub> em que a distância do ponto « R » do banco mais baixo ao solo não exceda 700 mm. [25] [26]

A Euro NCAP não tem dados disponíveis para veículos anteriores a 1997, ou seja, não realizou *crash tests* a veículos não existentes no mercado antes daquele ano. [27]

#### **Definições retiradas das diretivas:**

**Veículo**, Automóvel destinado a circular na via pública, completo ou incompleto, tendo pelo menos quatro rodas e uma velocidade máxima, por construção, superior a 25 km/h, bem como os seus reboques, com exceção dos veículos que se deslocam sobre carris, dos tratores agrícolas, florestais e de todas as máquinas automotrizes.

**Largura do veículo**, A distância entre dois planos paralelos ao plano mediano longitudinal do veículo e que tocam o veículo à esquerda e à direita do referido plano, mas excluindo os

espelhos retrovisores, as luzes de presença laterais, os indicadores de pressão dos pneumáticos, as luzes indicadoras de mudança de direção, as luzes de posição, os guarda-lamas flexíveis e a parte deformada das paredes dos pneumáticos imediatamente acima do ponto de contacto com o solo.

**Justaposição**, A percentagem da largura do veículo diretamente em linha com a face da barreira.

**Face deformável da barreira**, uma secção esmagável montada na parte da frente de um bloco rígido.

**Habitáculo**, o espaço destinado aos ocupantes, delimitado pelo teto, pelo piso, pelas paredes laterais, pelas portas, pelas vidraças exteriores, pela antepara da frente e pelo plano da antepara; do compartimento da retaguarda ou pelo plano do apoio do encosto dos bancos traseiros;

**Ponto R**, um ponto de referência definido pelo fabricante para cada banco em relação à estrutura do veículo.

**Ponto H**, um ponto de referência determinado para cada banco pelo serviço técnico responsável pela homologação; determinado pelos termos da diretiva 77/649/CEE.

**Massa sem carga em ordem de marcha**, a massa do veículo em ordem de marcha, sem ocupantes e sem carga, mas com combustível, fluido de arrefecimento, lubrificantes, ferramentas e uma roda de reserva se fizer parte do equipamento normalmente fornecido pelo fabricante do veículo.

**Airbag**, um dispositivo instalado como complemento dos cintos de segurança e sistemas de retenção nos veículos a motor, quer dizer, os sistemas que, em caso de colisão grave do veículo, proporcionam uma estrutura flexível destinada a limitar, pela compressão do gás nela contido, a gravidade dos contactos de uma ou várias partes do corpo de um ocupante do veículo com o interior do habitáculo;

**Sistema de proteção**, os acessórios e dispositivos interiores cujo objetivo seja reter e/ou proteger os ocupantes nos bancos;

**Massa de referência**, a massa sem carga do veículo acrescida de uma massa de 100 kg (corresponde à massa do manequim utilizado no ensaios de colisão lateral e da respectiva

aparelhagem). Na Euro NCAP, o manequim utilizado é o *Hybrid III*, com uma massa de 88kg [27].

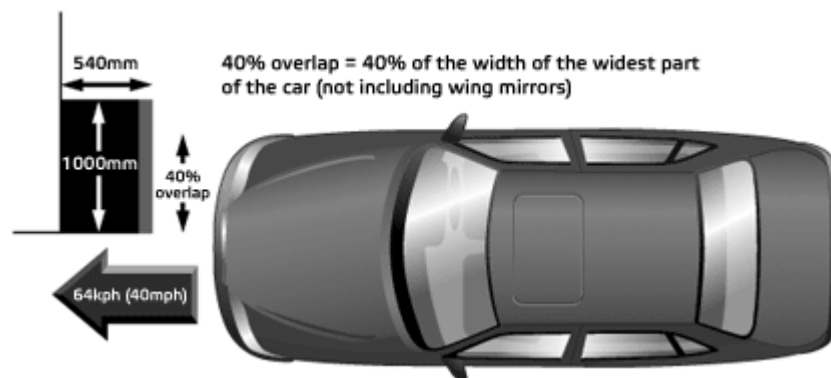
**Massa sem carga**, a massa do veículo em ordem de marcha, sem condutor, sem passageiros e sem carga, mas com o reservatório de combustível cheio a 90% da sua capacidade, bem como fluido de arrefecimento, lubrificantes, as ferramentas habituais e a roda sobresselente se aplicável;

**Barreira móvel deformável**, O dispositivo que é levado a colidir contra o veículo submetido ao ensaio; é constituído por um carro e por um impactor;

**Impactor**, Um elemento de esmagamento montado na parte frontal da barreira móvel deformável;

**Carro (Trolley)**, uma estrutura montada sobre rodas, capaz de se deslocar ao longo do seu eixo longitudinal até ao ponto de impacto, o impactor é montado na sua parte frontal.

#### 2.3.4.1 MÉTODO DE ENSAIO DO *CRASH TEST* FRONTAL DA EURO NCAP



**Figura 2.8 - *Crash test* frontal realizado pela Euro NCAP (*frontal offset deformable barrier*) [28].**

O ensaio consiste na colisão do veículo em teste na estrutura deformável (Figura 2.8). O embate na barreira é realizado do lado do condutor [28].

A estrutura deformável é uma barreira deformável fixa. Este teste tem como objetivo simular o tipo de acidente rodoviário mais frequente, o embate de uma automóvel com outro de massa equivalente. Mas como grande parte das colisões frontais não envolvem a frente total do veículo apenas uma parte, nesta simulação a frente do veículo incide 40% na barreira.

O teste realiza-se a uma velocidade 64km/h contra uma barreira deformável, sendo a sua representação equivalente a de uma colisão entre dois carros semelhantes cada um à velocidade de 55km/h [28].

**Parâmetros [25] [27]:**

- **Recinto**

O recinto para realização do ensaio deve ter espaço suficiente para a pista de aproximação, a barreira e o equipamento técnico necessário para o ensaio. O último troço da pista (no mínimo os 5 m anteriores à barreira) deve ser horizontal, plano e uniforme.

**Caracterização do veículo:**

- **Especificação geral**

O veículo ensaiado deve ser representativo da sua série de produção, ou seja, possuir todo o equipamento normalmente nele instalado. Alguns dos componentes poderão ser substituídos por massas equivalentes se for evidente que a sua substituição não terá ganhos significativos nos resultados das medições.

- **Massa do veículo**

A massa do veículo a ensaiar deve corresponder à massa em ordem de marcha sem carga.

O reservatório de combustível é enchido com água até 90% da massa de um reservatório de combustível cheio.

Os outros sistemas (de travagem, de arrefecimento, etc.) poderão estar vazios, se for compensado com massa correspondente.

São autorizados 25 kg para a instalação de equipamentos de medição, caso exceda poderá ser compensado por reduções de peso que não tenham efeitos significativos nos resultados das medições.

A massa dos aparelhos de medição não deve alterar a carga de referência em cada eixo em mais de 5 % e cada variação não pode exceder mais de 20 kg.

- **Barreira deformável**

A barreira deformável é fixa a um bloco de betão, com pelo menos  $7 \times 10^4$  kg de peso. O bloco de betão deve estar fixado no terreno ou colocado no solo, recorrendo se necessário a dispositivos de fixação de modo a restringir o seu descolamento,

A barreira deve estar a uma altura de 200 mm do solo.

A face frontal desta estrutura deformável deve ser perpendicular à trajetória do veículo de ensaio.

A barreira é descrita detalhadamente na seção 2.3.4.1.2.

- **Orientação da barreira**

A orientação da barreira deve ser tal que o veículo embata do lado da coluna de direção.

Dependendo do laboratório os ensaios são realizados com o volante à esquerda ou à direita, a orientação escolhida é a menos favorável, averiguada pelo serviço técnico responsável dos ensaios.

O alinhamento do veículo em relação à barreira é de 40 % ( $\pm 20$  mm) da largura do veículo deve justapor-se à face da barreira.

- **Propulsão e trajetória do veículo**

O sistema de propulsão do veículo deve ser o seu próprio motor ou qualquer outro dispositivo.

No momento da colisão, o veículo já não deve estar sujeito à ação de qualquer sistema de direção ou de propulsão adicional.

- **Velocidade**

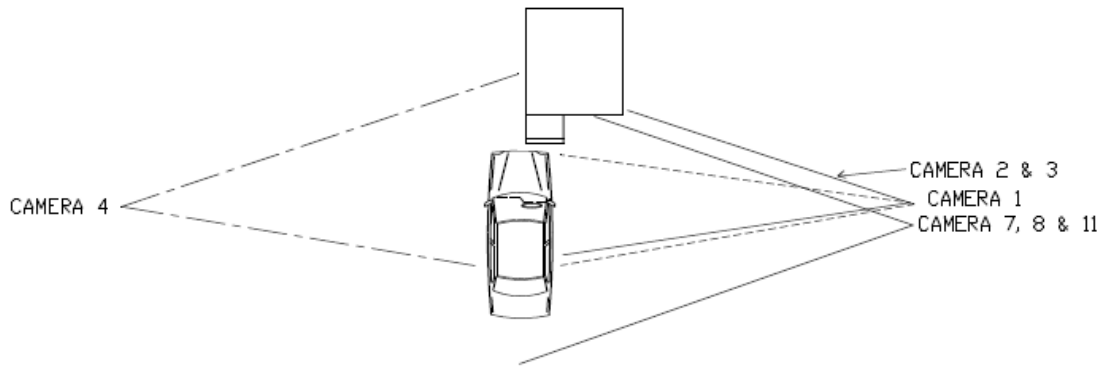
A diretiva 96/79/CE define a velocidade no momento da colisão de 56km/h, mas se o ensaio for realizado a uma velocidade de impacto superior e o veículo satisfizer os requisitos, o ensaio é válido.

A Euro NCAP, define que os seus testes são realizados com uma velocidade de impacto de 64 km/h [27].

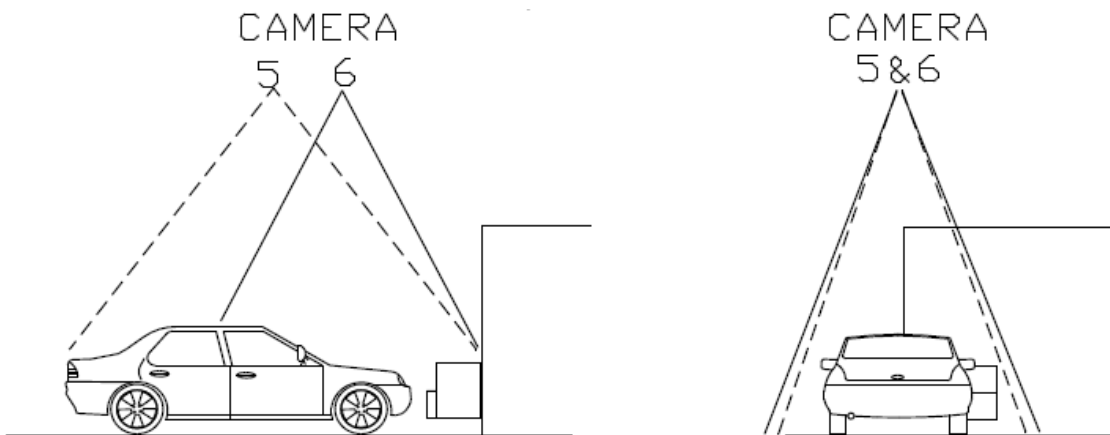
A medição da velocidade é realizada o mais próximo possível do ponto de impacto.

### **2.3.4.1.1 POSIÇÕES DAS CÂMARAS**

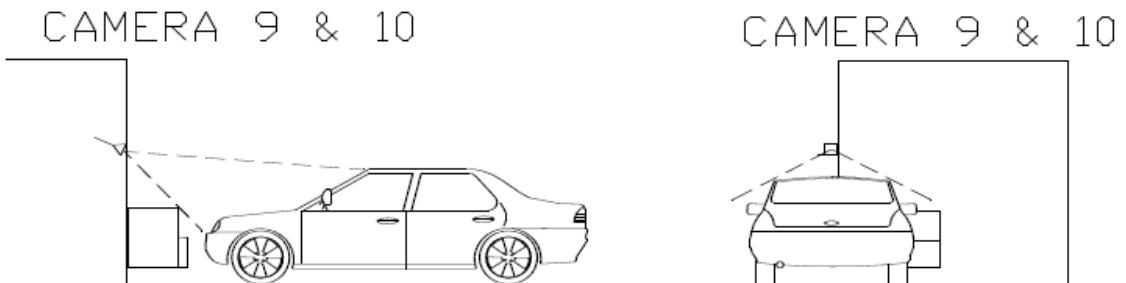
Nos ensaios de colisão lateral, as câmaras de alta-velocidade são instaladas segundo os próximos figuras [27]:



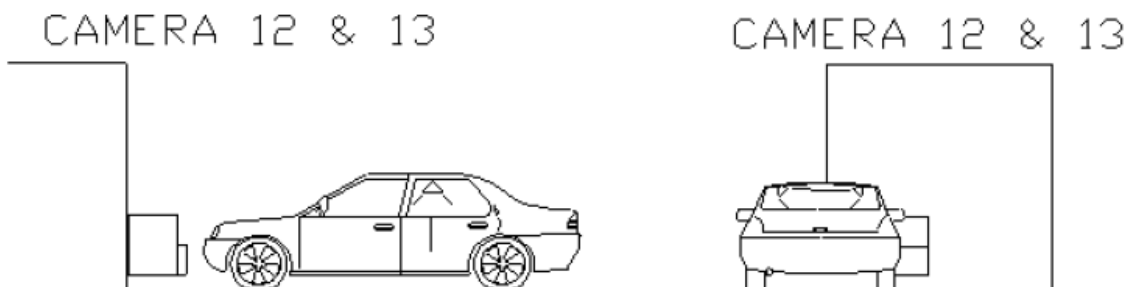
**Figura 2.9 - Disposição das câmaras no *crash test* frontal da Euro NCAP (vista de cima).**



**Figura 2.10 - Disposição das câmaras no *crash test* frontal da Euro NCAP (câmaras 5 e 6).**



**Figura 2.11 - Disposição das câmaras no *crash test* frontal da Euro NCAP (câmaras 9 e 10).**



**Figura 2.12 - Disposição das câmaras no *crash test* frontal da Euro NCAP (câmaras 12 e 13).**

**Tabela 2.2 – Direção do disparo das câmaras de alta velocidade [27].**

Câmara N°	Direção do disparo
1	Condutor (ângulo fechado)
2	Condutor (wide) (ângulo aberto)
3	Câmara de reserva para a câmara 2 (opcional)
4	Passageiro (ângulo aberto)
5	Plan view (ângulo aberto)
6	Plan view (ângulo fechado)
7	Condutor (ângulo aberto)
8	Câmara de reserva para a câmara 7 (optional)
9	Vista frontal do condutor e passageiro
10	Câmara de reserva para a câmara 9 (opcional)
11	Conduto (ângulo aberto)
12	Boneco (dummy) infantil (criança)
13	Boneco (dummy) infantil (criança)

A Tabela 2.2 indica a direção do disparo das câmaras. Todas as câmaras de alta-velocidade têm capacidade para disparos igual ou superiores a 500 fps. De modo a não ocorrer distorções na qualidade de imagem, as lentes das câmaras são de um mínimo de 9mm.

As camaras 2,7 e 9 são consideradas um requerimento essencial para todos os testes na sua divulgação aos *media*, na maior parte das vezes mais do que outras câmaras.

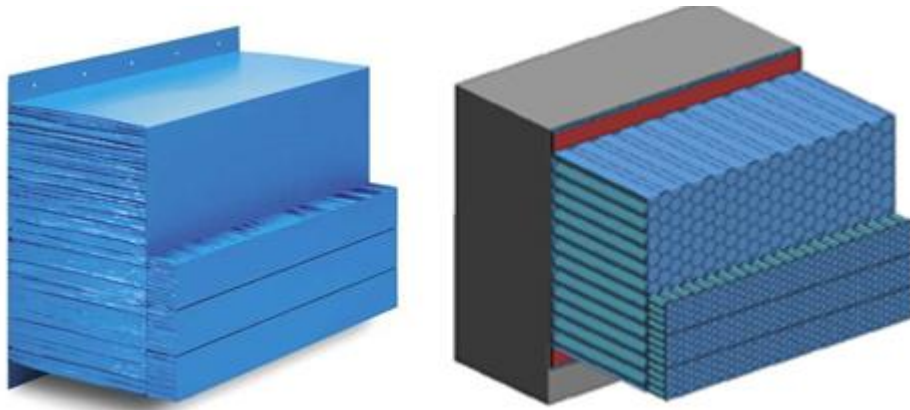
#### **2.3.4.1.2 BARREIRA DEFORMÁVEL COLISÃO FRONTAL EURO NCAP**

A barreira deformável utilizada para a ensaio de colisão frontal, é dividida em dois elementos, o bloco principal e o para-choques.

O interior do bloco principal e do para-choques são alveolados, com forma de hexágono, formando uma estrutura tipo ninho de abelha (Figura 2.13).

As dimensões, componentes e materiais da barreira deformável utilizada nos ensaios de colisão frontal efetuados pela Euro NCAP, são definidos na diretiva 96/79/CE. [25] [27].





**Figura 2.13 - Barreira deformável utilizada no *crash test* da Euro NCAP e estrutura interna.**

As especificações dos componentes individuais da barreira estão inumeradas separadamente e são as seguintes:

### **Bloco principal alveolado**

Dimensões	Todas as dimensões com tolerância de $\pm 2,5$ mm
Altura:	650 mm (no sentido das tiras alveoladas)
Largura:	1000 mm
Profundidade:	450 mm (no sentido dos eixos das células alveoladas)
Material:	Alumínio 3003 (ISO 209)
Espessura da folha:	0,076 mm
Dimensão da célula:	19,14 mm
Densidade:	28,6 kg/m <sup>3</sup>
Resistência ao esmagamento:	0,342 MPa

### **Elemento pára-choques**

Dimensões	Todas as dimensões com tolerância de $\pm 2,5$ mm
Altura:	330 mm (no sentido do eixo das tiras alveoladas)
Largura:	1000 mm
Profundidade:	90 mm (no sentido dos eixos das células alveoladas)
Material:	Alumínio 3003 (ISSO 209, parte 1)

Espessura da folha:	0,076 mm
Dimensão da célula:	6,4 mm
Densidade:	82,6 kg/m <sup>3</sup>
Resistência ao esmagamento:	1,711 MPa

### **Chapa de apoio**

Dimensões:

Altura:	800 mm
Largura:	1000 mm
Espessura:	2,0 mm

### **Chapa de revestimento**

Dimensões

Comprimento:	1700 mm
Largura:	1000 mm
Espessura:	0,81 mm
Material:	Alumínio 5251/5052 (ISO 209)

### **Folha de revestimento do elemento pára-choques**

Dimensões

Altura:	330 mm
Largura:	1000 mm
Espessura:	0,81 mm
Material:	Alumínio 5251/5052 (ISO 209)

### **Cola**

A cola utilizada na montagem é cola de poliuretano com dois componentes, tais como a resina *XB5090/1* e o endurecedor *XB5304* da *Ciba-Geigy*, ou alguma equivalente.

Diagramas a exemplificar a estrutura inseridos no Apêndice 2.

## **Processo de Colagem dos componentes**

As superfícies das chapas de alumínio a colar são completamente limpas, antes da colagem, e a cola deve ser aplicada a uma superfície apenas, recorrendo ao uso de um rolo de borracha com nervuras.

### **Construção**

O bloco alveolado principal deve ser colado à chapa de apoio de tal modo que os eixos das células fiquem perpendiculares à chapa. A chapa de revestimento deve ser colada à face anterior do bloco.

O elemento para-choques deve ser colado à parte da frente da chapa de revestimento de tal modo que os eixos das células fiquem perpendiculares à chapa. A parte inferior do elemento para-choques deve estar nivelada com a aresta inferior da chapa de revestimento.

O elemento para-choques é então dividido em três sectores iguais por meio de dois rasgos horizontais. Estes rasgos devem ser cortados ao longo de toda a profundidade do elemento e estender-se por toda a largura do elemento.

### **Montagem**

A barreira deformável é fixada de modo rígido à extremidade de uma massa não inferior a 70 toneladas. A fixação da face anterior da barreira deve ser tal que o veículo não contacte nenhuma parte da estrutura a mais de 75 mm da superfície superior da barreira durante qualquer fase da colisão.

A superfície de fixação não deve ser deslocada mais de 10 mm durante o ensaio. Se necessário, devem ser utilizados dispositivos adicionais de ancoramento ou de retenção para impedir a deslocação do bloco de betão.

#### **2.3.4.2 MÉTODO DE ENSAIO DO *CRASHTEST* LATERAL DA EURO NCAP**

Os ensaios de colisão lateral pretende simular uma colisão a 90° entre dois veículos num acidente real. Neste ensaio, um carrinho (estrutura móvel) embate no lado do condutor a uma velocidade de 50 km/h (Figura 2.14) [28] [27].

A estrutura móvel tem a sua parte frontal em alumínio, um bloco deformável, e tem o propósito de simular a parte frontal deformável de um veículo. A definição usada pela EuroNcap é *mobile deformable barrier* (MDB) [26].

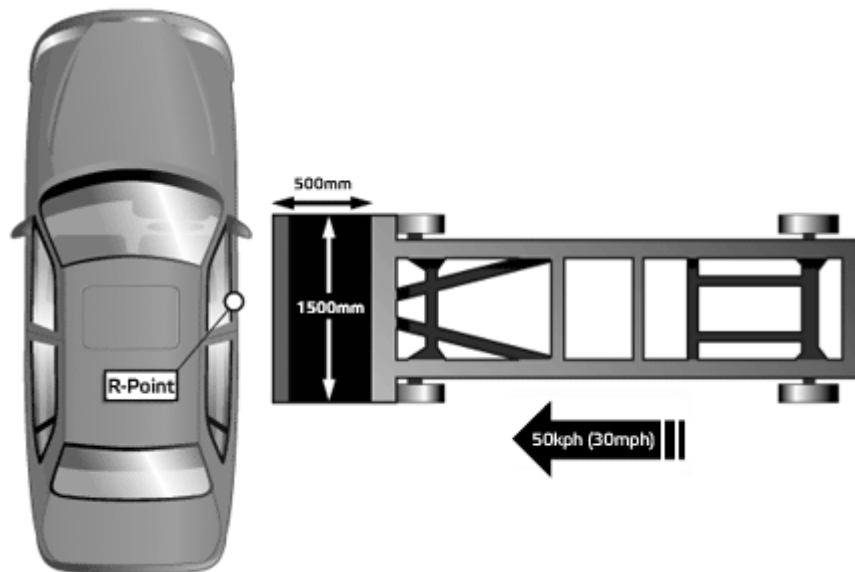


Figura 2.14 – *Crash test* lateral realizado pela Euro NCAP.

#### PARÂMETROS [26] [29]:

- **Recinto**

O recinto para a realização do ensaio deve ter espaço suficiente para a instalação todos os equipamentos e componentes necessários à realização do ensaio. A superfície onde terá lugar a colisão e a projeção do veículo devem de ser representativa de uma superfície de estrada normal, deve ser horizontal, plana e estar limpa e seca.

- **Condições para a realização do ensaio**

O veículo a realizar o *crash test* deve estar imóvel.

A barreira móvel deformável deve estar equipada com um dispositivo que impeça um segundo impacte no veículo.

A trajetória do plano longitudinal médio vertical da barreira móvel deformável deve ser perpendicular ao plano longitudinal médio vertical do veículo que sofre a colisão, perfazendo um ângulo de 90° um em relação ao outro.

O ponto médio na largura do impactor deve incidir no ponto R, aquando a colisão.

## **CARACTERIZAÇÃO DO VEÍCULO / PARÂMETROS DE TESTE [26] [29]**

- **Especificação geral**

As especificações gerais para a realização deste *crash test* são as iguais às do *crash test* frontal da Euro NCAP. O procedimento para determinação da massa de referência também é o mesmo (secção 2.3.4.1).

No momento da colisão as janelas laterais do veículo devem de estar fechadas, pelo menos as do lado em que a colisão incide.

- **Velocidade**

A diretiva 96/27/CE define que a velocidade da barreira móvel deformável no momento da colisão deve ser de 50 km/h. A velocidade da barreira deve ser estabilizada pelo menos 0,5 m antes desta colidir com a barreira. Se, o ensaio for realizado a uma velocidade de colisão superior e o veículo satisfizer os requisitos, o ensaio será considerado satisfatório.

A Euro NCAP realiza os seus testes laterais com a velocidade de impacto da barreira igual à definida pela diretiva 96/27/CE.

- **Sistema de travagem pós-impacto**

Deve de ser aplicado um método de modo a eliminar impactos secundários entre a barreira e o veículo após a colisão. Pode ser um sistema de emergência de travagem na estrutura móvel ou outro método, ficando ao critério do laboratório.

### **2.3.4.2.1 BARREIRA MÓVEL DEFORMÁVEL EURO NCAP**

A barreira móvel deformável é constituída pelo impactor e o carro (*trolley*).

A estrutura interna do impactor é alveolado com forma de hexágono, formando uma estrutura tipo ninho de abelha.

As dimensões, componentes e materiais da barreira deformável utilizada nos ensaios de colisão lateral efetuados pela Euro NCAP, são definidos na diretiva 96/27/CE [26] [29].



**Figura 2.15 - Barreira deformável móvel (MDB).**

**Características da barreira móvel deformável:**

- A massa total da barreira deve de ser de 950 kg;
- A distância entre as rodas do carro deve ser de 1500mm à frente e à retaguarda;
- A distância entre eixos do carro deve ser de 3000 mm;
- O centro de gravidade deve estar situado a não mais de 10 mm de plano longitudinal médio vertical, 1000mm para trás do eixo dianteiro e 500 acima do solo.

**Características do impactor:**

- O impactor é constituído por seis blocos independentes e agrupados;
- A zona deformável de impacto deve ter 1 500 de largura e 500 de altura;
- A distância ao solo da zona de colisão, medida em condições estáticas antes da colisão, deve ser de 300 mm;
- Devem existir seis blocos deformáveis, dispostos em duas filas de três blocos. Todos os blocos devem ter a mesma largura, 500 mm e a mesma altura, 250 mm. Os blocos da fila de cima devem ter 440 mm de profundidade e os da fila de baixo uma profundidade de 500 mm.
- O material do impactor deve ser o alumínio alveolado. Poderão ser utilizados outros materiais, desde que seja demonstrado ao serviço técnico que conduzem a resultados idênticos aos previstos

As dimensões dos componentes e as características de deformação do impactor e estão no Apêndice 2.

## 2.4 CRASH3

Inicialmente a análise ao dano consistia por comparação, ou seja, comparar os danos resultantes de um acidente, com danos semelhantes a partir de testes com velocidades de impacto conhecidas, ou acidentes previamente reconstruídos. Este método produzia resultados que não representava as especificações do acidente.

Em 1970, a NHTSA financiou um projeto com o objetivo de desenvolver um programa de computador que visava alcançar uma melhor uniformidade, bem como melhorias na precisão e detalhe, na interpretação de evidências físicas em acidentes rodoviários. O programa de computador resultado foi o *Simulation Model of Automobile Collisions* (SMAC) [30].

O SMAC era um programa “*open-form*” de reconstrução de acidentes. Um requerimento dos programas “*open-form*” é que o utilizador deve inicialmente estimar os valores da velocidade de impacto. O programa também requeria iterações para atingir um valor aceitável de evidências de acidentes [30].

Uma das dificuldades que surgiu na criação de simulações SMAC pelas equipas de investigação foi que a estimativa inicial da velocidade nem sempre era óbvia. Também, os utilizadores tinham que fornecer as propriedades dos veículos e especificações, muitas das quais não estavam imediatamente ao alcance ou disponíveis. Estes requerimentos combinados com o custo relativamente alto por cada simulação SMAC, obrigou a que fosse criado um pré-processador que fornecesse-se a estimativa inicial [30].

O programa de computador CRASH foi assim criado, primeiramente para assistir utilizadores de SMAC.

O programa original CRASH utilizava dois procedimentos: trajetória linear por partes e análise de danos para fornecer uma estimativa inicial. Comprovada a sua utilidade e com as posteriores melhorias que o programa obteve, começou a ser utilizado como *software* independentemente pela NHTSA como parte integral das investigações NASS (*National Automotive Sampling System*) [30].

O programa tem dois métodos distintos e independentes, análise da trajetória e análise de danos. O método de análise da trajetória requeria medições detalhadas de uma cena de acidente e do veículo para calcular a velocidade usando o princípio de conservação do momento linear para a colisão. [31]

O método de análise de dano foi baseada na observação de Campbell que para impactos frontais numa barreira rígida fixa, a velocidade de colisão tem uma relação linear com a deformação residual (secção 2.4.1.1.1). Campbell usou medições detalhadas da deformação estrutural de cada veículo para estimar a energia, essa abordagem que foi então usada para calcular a velocidade. Mais pesquisas sobre este assunto foram realizadas por McHenry para o Departamento de Transportes dos EUA, aperfeiçoou as observações anteriores de Campbell [5]. Especificamente, McHenry verificou que os veículos se comportam como molas lineares dissipando energia [32] [33].

A NASS começou a codificação da velocidade de colisão de veículos acidentados em 1979 usando o programa CRASH. O programa foi atualizado e revisto várias vezes na década de 1980 para uma versão amplamente distribuída e utilizada, CRASH3.

O programa CRASH3 foi baseado em *crash tests* realizados em veículos da GM entre 1971 e 1974. Modelos posteriores ao ano têm mudanças significativas a nível da estrutura, principalmente os mais recentes.

O CRASH3 é limitado na análise da colisão de dois veículos num único impacto, bem como um veículo a colidir com um objeto fixo e sem movimento. Uma limitação do programa é que ele assume que todos os veículos dentro uma série de distância entre eixos distintos possuem basicamente as mesmas características dimensionais, de inércia e rigidez. Dados dimensionais, de inércia e rigidez são agrupados em diferentes categorias de veículos separadas em tabelas internas, sendo estas utilizadas durante o processo de análise [1].

No entanto, não há justificação aparente para este agrupamento e testes demonstram que existem grandes variações dessas propriedades entre veículos no mesmo grupo com distância entre eixo semelhantes. Em particular, os valores de rigidez traseira atribuídos foram incorretamente determinados, e não se parecem com características de rigidez da extremidade traseira dos veículos de produção reais [1].

Os extensivos dados de testes atualmente disponíveis a partir de fabricantes de veículos e laboratórios de ensaio permite a determinação de critérios de rigidez específicas para muitos



veículos concebidos de forma semelhante (estruturas semelhantes), o que aumenta a precisão [1] [34].

### 2.4.1 PRESSUPOSTOS DO CRASH3 E RECOMENDAÇÕES

- Ponto de velocidade comum durante o impacto

Assume que durante o impacto, em algum instante de tempo, o ponto de contato em ambos os veículos atinge uma velocidade comum. Há certas situações, nomeadamente impactos lateral (*sideswipes*) em que a análise pelo CRASH3 não será bem sucedida. [32]

- Quantificação de Propriedades de Veículos

O CRASH3 mantém tabelas de propriedades de veículos que dividem os veículos em categorias distintas [32].

- Coeficientes de Rigidez Uniformes

O CRASH3 assume coeficientes de rigidez uniformes individuais para a zona lateral, frontal e traseira de um veículo. Os coeficientes de rigidez (Tabela 2.3) foram empiricamente derivados de dados gerados em testes de colisão. Mas no caso do lado do veículo a noção de uniformidade não é considerada porque perto dos eixos a estrutura é mais dura do que perto das rodas. [32]

**Tabela 2.3 - Coeficientes obtidos por Campbell para a zona frontal do veículo [32].**

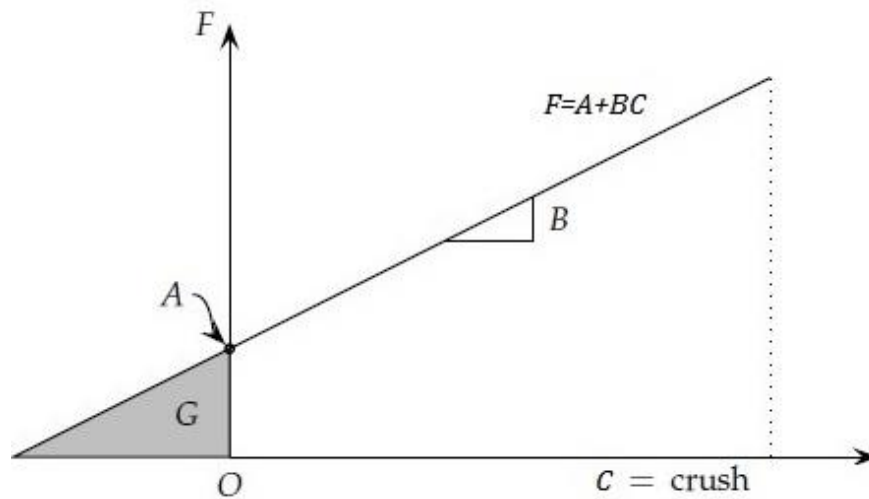
	Std. Wgt. (Lbs)	Width (In)	$b_0$ MPH	$b_1$ MPH/In	A Lb/Inch	B Lb/In <sup>2</sup>	G Lb.
71-72 Std. Full Size	4500	79.2	6.85	0.88	274.6	35.27	1068.6
73-74 Std. Full Size	4500	79.2	7.5	0.90	307.5	36.89	1281.1
73-74 Intermediate	4000	76.8	7.5	0.90	281.8	33.82	1174.3
71-74 Compact	3400	71.4	3.0	1.35	154.6	69.57	171.78
71-74 Subcompact	2500	62.2	3.0	1.35	130.5	58.72	144.94

#### 2.4.1.1 ANÁLISE DE DANOS

##### 2.4.1.1.1 ENERGIA ABSORVIDA

O cálculo da energia absorvida é baseado na deformação residual e foi remodelado após os estudos de *Campbell*,

O modelo da Energia absorvida é baseado em dois pressupostos. O primeiro pressuposto refere que a força de impacto varia linearmente com a deformação residual. Este pressuposto pode ser representado graficamente da seguinte forma [32] [31] [33] [1]:



**Figura 2.16 - Forma linear assumida da resistência à deformação.**

A expressão matemática que transcreve este primeiro pressuposto é a seguinte:

$$F = A + BC \quad (2.1)$$

Onde:

$F$  = força por unidade de largura,  $N/m$

$A$  = força máxima por unidade de largura resultante em não deformação,  $N/m$  ou  $lb/in$

$B$  = relação entre a força e a deformação,  $N/m^2$  ou  $lb/in^2$

$C$  = profundidade da deformação / Deformação residual,  $m$  ou  $in$

O valor aproximado da energia absorvida pelo veículo na colisão é obtido pela dupla integração em função de  $L$  e  $C$  da função linear 2.1.

$$E = \int_0^L \int_0^C (A + Bc) dc dl \quad (2.2)$$

Onde:

$E$  = energia absorvida por largura,  $J/m$

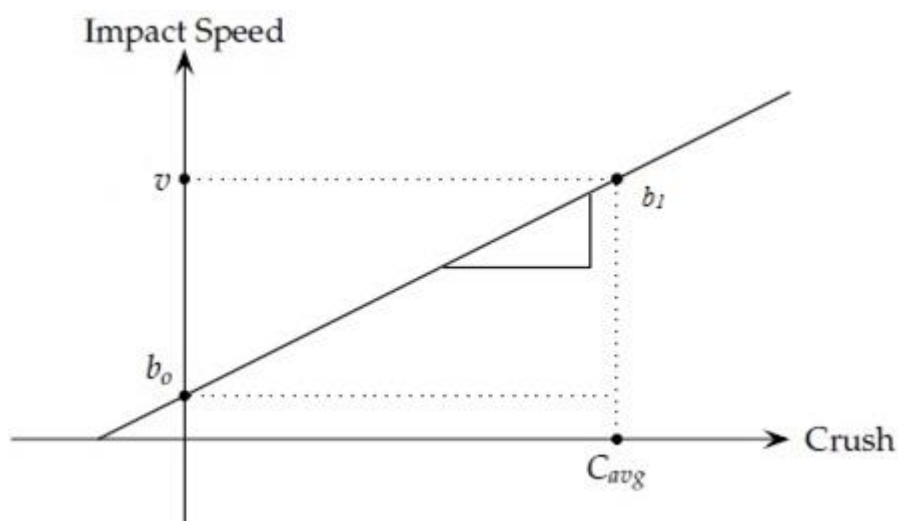
$L$  = largura da área deformada,  $m$  ou  $in$

$$E = \int_0^L \left( AC + B \frac{C^2}{2} + G \right) dl = \left[ AC + \left( \frac{B}{2} \right) C^2 + G \right] L \quad (2.3)$$

Os valores dos coeficientes A, B e G são fornecidos pela Tabela 2.3 na sua forma original. Estes valores foram estimados com base nos ensaios de colisão (*crash tests*) realizados pela NHTSA. Consoante as melhorias e alterações à estrutura dos veículos desde a primeira publicação destes valores, eles tornaram-se obsoletos, por isso ao longo do tempo houve publicações de *upgrades*, no apêndice 3 encontra-se a última versão conhecida destes. É de notar que a estrutura do veículo não é uniforme, e os coeficientes atribuídos para a zona frontal do veículo não são os mesmos que para a parte lateral, pois têm diferentes durezas. A divisão destes coeficientes faz-se para três partes distintas do veículo, parte frontal, lateral e traseira [32] [31].

O segundo pressuposto pode ser formulado da seguinte forma, durante um impacto frontal a deformação residual varia linearmente com velocidade de impacto do veículo ao embater na barreira [32] [31] [33] [1].

O segundo pressuposto provém dos estudos efetuados por Campbell no início da década de 70, através das observações de *crash tests* frontais com barreira fixa (*Frontal Fixed Barrier*, FFB) definiu uma relação linear entre a velocidade de impacto e a deformação resultante (Figura 2.17).



**Figura 2.17 - Intersecção entre a velocidade de impacto e a deformação.**

A relação é representada matematicamente por uma equação da linha reta:

$$v = b_0 + b_1 C \tag{2.4}$$

$v$  = velocidade de impacto,  $m/s$  ou  $in/sec$

$C$  = profundidade da deformação / residual crush,  $m$  ou  $in$

$b_0$  = limite de velocidade de impacto na qual não ocorre deformação,  $m/s$  ou  $ft/sec$

$b_1$  = inclinação em unidade de velocidade por unidade de comprimentos,  $1/s$

Os valores utilizados para  $b_0$  são características da zona do veículo atingida durante o impacto, os valores tipicamente utilizados estão representados na seguinte Tabela 2.4 [1].

**Tabela 2.4 – Variação dos valores de  $b_0$  [1].**

Localização do Impacto no Veículo	$b_0$ , $m/s$ ( $mph$ )
Frontal	1,78-2,23 $m/s$ (4-5 $mph$ )
Traseiro	1,78-2,23 $m/s$ (4-5 $mph$ )
Lateral	0,89-1,11 $m/s$ (2-2,25 $mph$ )

O coeficiente  $b_1$  é determinado pela seguinte equação:

$$b_1 = \frac{v_{test} - b_0}{C_{average}} \tag{2.5}$$

O significado real de  $b_0$  é limite para o qual não há deformação, ou seja, para velocidades

inferiores a este valor a deformação realizada pertence ao domínio elástico, não ocorrendo deformação no veículo. O mesmo sucede com a constante A (secção 0).

#### 2.4.1.1.2 VELOCIDADE

A transformação que relaciona o modelo do primeiro pressuposto com o segundo é conseguida através do uso do teorema do Trabalho-Energia [33] [1]:

$$W = \int Fdc = E_{cinética} = \frac{1}{2}mv^2 \quad (2.7)$$

Onde,

$W$  = trabalho,  $J$

$E_{cinética}$  = Energia cinética,  $J$

$m$  = massa,  $kg$

$v$  = velocidade  $m/s$

Nos impactos frontais de barreira frontais de barreira fixa da NHTSA, a energia absorvida é equiparada à energia cinética dissipada do veículo, visto que a colisão é contra uma barreira não-deformável e não há absorção da energia por parte desta.

$$E_{absorvida} = E_{cinética} \quad (2.8)$$

Com esta relação de equivalência é possível obter o  $v$ ,

$$\left( AC + \frac{B}{2}C^2 + \frac{A^2}{2B} \right) L = \frac{1}{2}mv^2 \quad (2.9)$$

$$v = \sqrt{\frac{BL}{m} \left( C + \frac{A}{B} \right)} \quad (2.10)$$

O  $\Delta v$  é definido como o impulso na variação da velocidade, produzida pelo impacto.

#### 2.4.1.1.3 COEFICIENTES DE RIGIDEZ

Os coeficientes de rigidez têm um significado físico. O coeficiente  $B$  representa a dureza da estrutura do veículo. O coeficiente  $A$  representa o início da deformação plástica, abaixo deste

valor apenas ocorre deformação elástica, ou seja a deformação não é permanente [32] [31] [33] [1].

O valor de  $G$  é uma constante de integração que representa o trabalho a alcançar o valor de força máxima que não resulte em deformação, a variável  $A$ . Esta energia é elástica, já que a deformação residual para forças abaixo de  $A$  é zero. Na Figura 2.16 o  $G$  é representado pela área triangular abaixo de  $A$ .

Existem no mercado recursos comerciais que fornecem os coeficientes de rigidez,  $A$  e  $B$  para vários veículos, no apêndice 3, estão alguns destes valores. Também é possível calcular estes valores através de dados não tratados. Estes podem ser obtidos através de dados de *crash tests*, como o caso da NHTSA para os veículos comercializados nos EUA e no Canadá [34].

*Campbell* demonstrou que os coeficientes de rigidez, podem ser obtidos em função de  $b_0$  e de  $b_1$  [33].

$$A = \frac{b_0 b_1 m}{L} \quad (2.11)$$

$$B = \frac{b_1^2 m}{L} \quad (2.12)$$

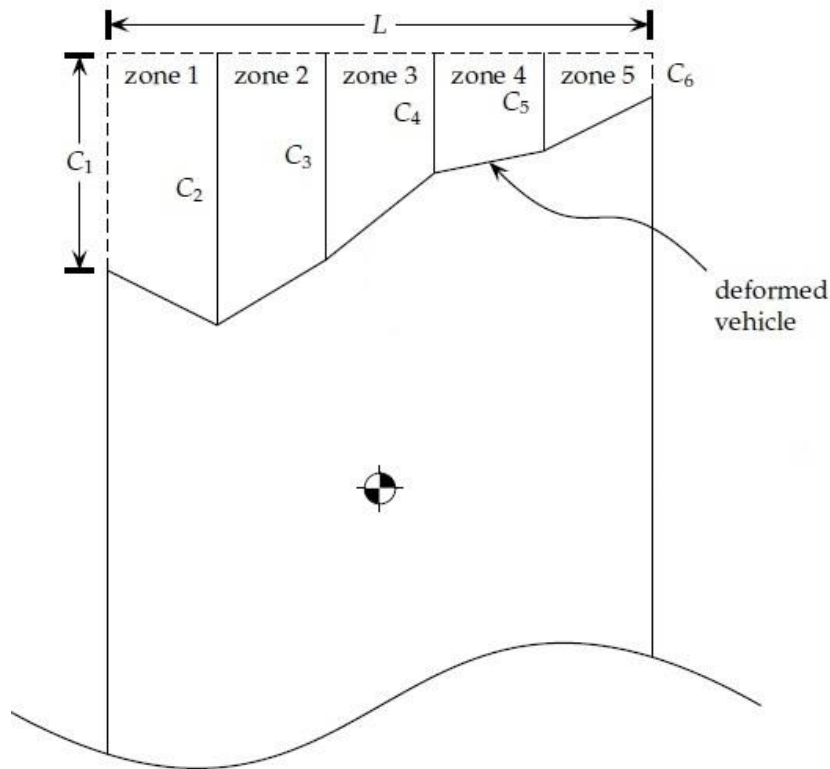
$$G = \frac{A^2}{2B} \quad (2.13)$$

A precisão da análise de dano está dependente dos Coeficientes de Rigidez.

#### **2.4.1.1.4 DIVISÃO DA ÁREA DEFORMADA**

O modelo presente no Crash3 aproxima os perfis irregulares de dano, dividindo a área de dano em trapézios com a mesma largura. Os trapezóides estão limitados nos lados pelas medições da profundidade do dano [32] [31] [33] [1].

Na Figura 2.18, a área deformada do veículo é dividida em 5 áreas mais pequenas, ou seja em 5 trapézios limitados por 6 distâncias,  $C_1$  a  $C_6$ .



**Figura 2.18 - Perfil e dimensões do dano.**

$$A_D = A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5 \quad (2.14)$$

$$A_D = \frac{L}{10} (C_1 + 2C_2 + 2C_3 + 2C_4 + 2C_5 + C_6) \quad (2.15)$$

$A_D$  = área deformada, m<sup>2</sup>

A área de dano na Figura 2.18, é determinada pela soma da área de todos os trapezoides equação 2.14.

Os « $C$ » representam a profundidade do dano, ou seja, as distâncias entre o contorno original do veículo e o contorno do veículo deformado, num ângulo perpendicular ao eixo da largura do veículo.

Na equação 2.15 permite calcular a área a partir dos  $C_n$ , a partir da forma básica da equação 2.14.

Os trapezóides não necessitam necessariamente de ser seis, depende da irregularidade do perfil, mas devem sempre de estar igualmente equidistantes uns dos outros.

## **2.5 ENERGIA DISSIPADA NUM IMPACTO CONTRA BARREIRA DEFORMÁVEL**

Segundo simulações realizados pela NHTSA, no estudo de uma possível adoção de um novo tipo de teste com barreira deformável tendo por base a EEVC WG11 (barreira deformável utilizada na Euro NCAP) a dissipação da energia cinética na colisão é absorvida em cerca de 50% pela estrutura do veículo sendo o restante dissipado na barreira deformável e na restituição do veículo [21].



## **3 PROCEDIMENTOS E ANÁLISE EXPERIMENTAL**

---



## 3 PROCEDIMENTOS E ANÁLISE EXPERIMENTAL

### 3.1 INTRODUÇÃO

A partir dos dados de *crash tests*, pretende-se melhorar uma base de dados contendo informações acerca destes.

O objetivo é criar um programa que permita uma análise ao veículo automóvel acidentado, através de coeficientes para cada modelo analisado, determinar a energia dissipada aquando a colisão e por sua vez a velocidade de impacto.

Os dados referentes aos *crash tests* foram obtidos por duas instituições a NHTSA e a Euro NCAP.

A NHTSA publica os dados referentes aos seus testes, estando disponíveis e acessíveis a qualquer entidade.

Nos *crash tests* realizados pela Euro NCAP, os únicos dados fornecidos pela instituição são os vídeos dos seus ensaios, foi necessário desenvolver um método de análise a partir destes.

Todos os *crash tests* que foram analisados por ambas as instituições foram os de colisão frontal.

Os veículos analisados na Euro NCAP são veículos ligeiros de passageiros, do Segmento A a E.

### 3.2 BASE DE DADOS NHTSA

A NHTSA faculta os resultados dos seus *crash tests* a qualquer entidade. No seu website encontra-se uma extensa informação como fotos, vídeos e relatórios dos *crash tests* realizados. A base de dados da NHTSA contém dados técnicos obtidos durante as suas várias pesquisas, do NCAP e uma compilação de *crash tests*. Esta informação é referente à performance e à resposta dos veículos e de outras estruturas envolvidas em impactos. Esta base de dados não está intencionada para o suporte do consumidor acerca de questões de segurança.

A base de dados está disponível para *download* e pode ser exportada para outros formatos [34].

### 3.2.1 MANIPULAÇÃO DOS DADOS

A base de dados da NHTSA foi exportado para o EXCEL, de modo a poder modelar os dados, organizou-se os dados dividindo os valores por colunas, obtendo 9619 linhas de dados no EXCEL.

Com a grande extensão de informação, procedeu-se a uma seleção, eliminando dados incompletos, veículos de teste, protótipos, testes experimentais e outros *crash tests* sem interesse para o projeto como *pole test*, *roll over*, de modo a apenas obter os de impacto frontal.

Os testes frontais selecionados foram os realizados com uma barreira fixa não deformável num impacto frontal total, ou seja que abrangia toda a largura do veículo (Secção 2.3.4.1.1).

A base de dados contém uma extensa informação acerca dos veículos sem interesse para o projeto, como tipo de motor, tipo de transmissão, códigos de registo interno, anotações, *dummy* utilizado, etc. [35]

Os parâmetros na base de dados fundamentais para este estudo são:

- MAKED – Marca do veículo;
- MODEL – Modelo do veículo;
- YEAR – Ano do teste;
- VEHTWT – Massa do veículo do teste;
- VEHLEN – Comprimento do veículo;
- VEHWID – Largura do veículo;
- VEHSP – velocidade de impacto;
- DPD – Distância no perfil de dano, DPD1 a DPD6 (secção 2.4.1.1.4);
- LENCNT – Comprimento da incidência, é o comprimento da deformação total incorrido pelo contacto do veículo (largura da deformação).

### 3.3 PROGRAMA

O programa original foi criado como tema da dissertação do estudante Huşoschi Nicuşor-Valentin [36]. O programa está escrito no Excel em VBA (*Visual Basic for Applications*).

O programa tem incorporadas as equações referentes ao cálculo da energia dissipada (equação 2.3) a partir dos coeficientes de rigidez pelas equações 2.11 e 2.12, bem como a determinação da velocidade de colisão (equação 2.10) que é o pretendido.

No cálculo com os dados obtidos através dos *crash tests* da Euro NCAP realizados com barreira deformável a energia absorvida é 50% da energia total dissipada (secção 2.5).

### 3.4 EXCEL

O programa está escrito no ficheiro Excel que contém os dados obtidos pela base de dados da NHTSA. A estes dados foram adicionadas as medições efetuadas aos *crash tests* da Euro NCAP, entre os outros parâmetros sendo eles a massa, a largura do veículo, a velocidade de impacto e a largura da deformação. A última atualização da base de dados em foi a 1 de Setembro de 2014, onde foram introduzidos os *crash tests* até esta data.

Os coeficientes de rigidez, A e B, foram calculados pelas equações 2.11 e 2.12, onde o coeficiente  $b_i$  foi determinado pela equação 2.5. O  $b_o$  utilizado nos cálculos foi de 2,22 m/s, porque este foi o valor utilizado em vários artigos no cálculo dos coeficientes. (Tabela 2.4) [37] [38] [39].

O  $C_{average}$  da equação 2.5 é obtido pela equação 3.3, o equivalente  $C_{med}$ . De notar que há 6 medições ( $C_1 \dots C_6$ ) mas o número de intervalos é 5 (secção 2.4.1.1.4).

Poder-se-ia calcular uma média linear destes coeficientes:

$$C_{med} = \frac{\frac{(C_1+C_2)}{2} + \frac{(C_2+C_3)}{2} + \frac{(C_3+C_4)}{2} + \frac{(C_4+C_5)}{2} + \frac{(C_5+C_6)}{2}}{5} \quad (3.1)$$

No entanto, dado que a energia absorvida é proporcional ao quadrado da área da deformação, para os cálculos da média vai-se usar uma média quadrática:

$$C_{med}^2 = \frac{\frac{(C_1+C_2)^2}{4} + \frac{(C_2+C_3)^2}{4} + \frac{(C_3+C_4)^2}{4} + \frac{(C_4+C_5)^2}{4} + \frac{(C_5+C_6)^2}{4}}{5} \quad (3.2)$$

Que resulta em:

$$C_{med} = \sqrt{\frac{C_1^2 + 2C_2^2 + 2C_3^2 + 2C_4^2 + 2C_5^2 + C_6^2 + 2C_1C_2 + 2C_2C_3 + 2C_3C_4 + 2C_4C_5 + 2C_5C_6}{20}} \quad (3.3)$$

Onde,

$C_{med}$  = distância média da profundidade do dano, m.

$C_1$  a  $C_6$  = distância no perfil de dano, método de medição é referida na secção 3.7

O  $C_{med}$  na equação 3.3, é obtido pela média dos quadrados das distâncias de deformação ( $C_1$  a  $C_6$ ) dos trapézios no perfil de dano.

Na Figura 3.1 estão representados os C aplicados na equação 3.3.

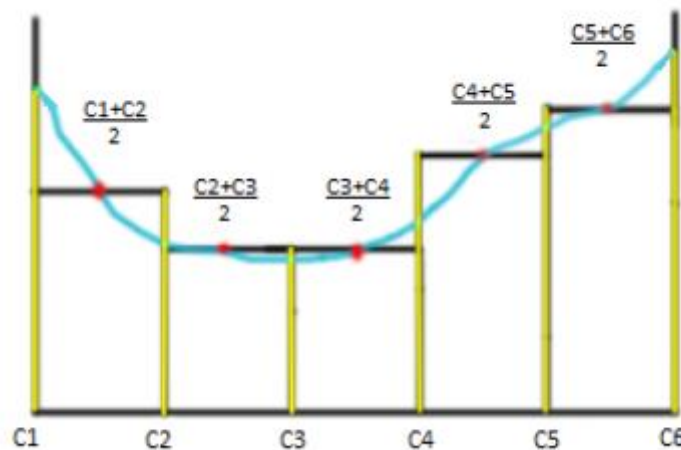
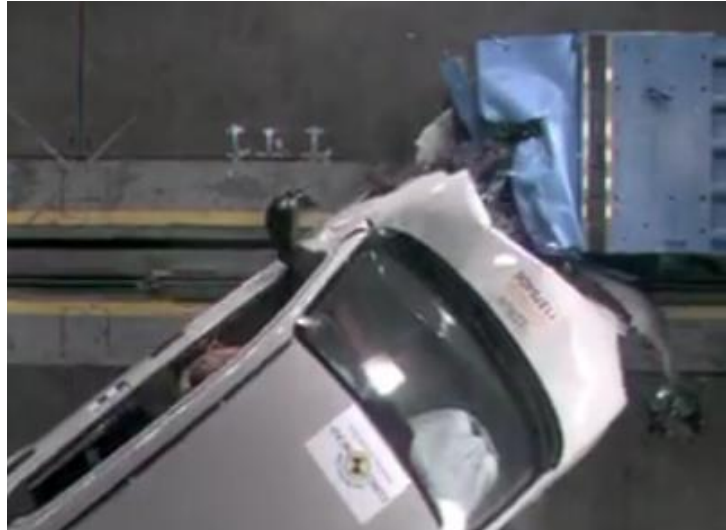


Figura 3.1 - Representação esquemática do  $C_{med}$  no perfil de dano.

### 3.5 BARREIRA DEFORMADA PADRÃO PARA ENSAIO FRONTAL EURO NCAP

Após observações realizadas aos vídeos de *crash tests* frontais da Euro NCAP, verificou-se que para veículos com características idênticas, ou seja, dentro da mesma gama de segmento (secção 2.2), que após o impacto a deformação apresentada pela barreira era semelhante entre todos os veículos do mesmo segmento.

Utilizou-se um programa de manipulação de vídeo, o Movie Maker, de modo a poder manipular o vídeo dos *crash tests* e obter o *frame* que corresponde à barreira deformável após a colisão (Figura 3.2). Posteriormente usou-se o programa Adobe Photoshop para obtenção dos contornos da barreira deformável, na imagem obtida pelo Movie Maker. Após obter todos os contornos para os vários veículos do segmento A a E, foi realizada uma sobreposição dos vários contornos e traçando uma linha média, obtendo assim uma barreira deformada padrão para cada segmento (Secção 3.5.1).



**Figura 3.2 - Barreira deformável após o *crash test* do Fiat Panda 2011 realizado para a Euro NCAP.**

### **3.5.1 SOBREPOSIÇÃO DAS BARREIRAS E BARREIRA DEFORMADA PADRÃO**

Sobreposição das Barreiras deformadas e respetiva barreira-padrão para cada segmento obtida após a análise das imagens:

#### Segmento A



**Figura 3.3 - Contornos das barreiras deformadas para o segmento A. A linha azul em forma de trapézio é a barreira deformada padrão para o segmento.**

Veículos analisados:

- Fiat 500 2007;
- Fiat Panda 2011;
- Hyundai i10 2010;
- Renault Twingo 2007.

### Segmento B



**Figura 3.4 - Contornos das barreiras deformadas para o segmento B. A linha azul em forma de trapézio é a barreira deformada padrão para o segmento.**

Veículos analisados:

- Citroen DS3 2009;
- Renault Clio 2012;
- Fiat Grand Punto 2005;
- Peugeot 208 2012.

### Segmento C



**Figura 3.5 - Contornos das barreiras deformadas para o segmento C. A linha azul em forma de trapézio é a barreira deformada padrão para o segmento.**

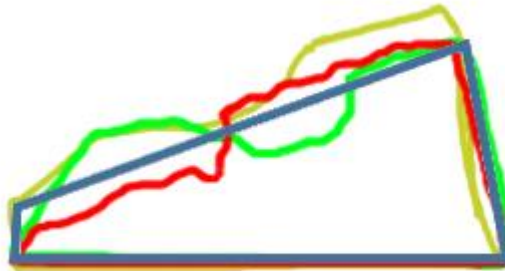
Veículos analisados:

- Citroen DS4 2011;
- Ford Focus 2011;
- Mercedes-Benz A-class 2012;
- Opel Ampera 2011;



- Renault Mégane 2008;
- Volkswagen Golf 2008;
- Volkswagen Golf 2012.

#### Segmento D

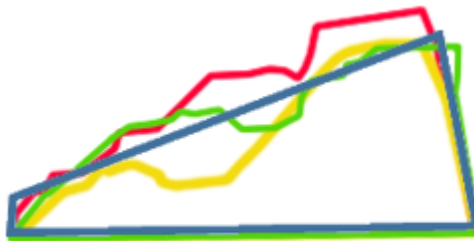


**Figura 3.6 - Contornos das barreiras deformadas para o segmento D. A linha azul em forma de trapézio é a barreira deformada padrão para o segmento.**

Veículos analisados:

- AUDI A4 2008;
- BMW 3series 2012;
- Mercedes-Benz C-class 2014.

#### Segmento E



**Figura 3.7 - Contornos das barreiras deformadas para o segmento E. A linha azul em forma de trapézio é a barreira deformada padrão para o segmento.**

Veículos analisados:

- Audi A6 2012;
- BMW 5 series 2014;
- BMW 5 series 2010.

### 3.6 RESTITUIÇÃO

Um impacto acontece quando dois objetos interagem com elevadas forças durante um curto espaço de tempo. Esta interação é referida como colisão, isto origina grandes forças impulsivas que tipicamente deformam os objetos.

Imediatamente após a incidência segue-se uma fase de compressão onde os objetos que colidem deformam e absorvem energia cinética. A fase de compressão tem duração finita e termina quando a deformação dinâmica alcança um máximo. À fase de máxima deformação segue-se um período de restituição, onde o objeto pode recuperar. Durante a fase de restituição alguma da energia absorvida é restituída sob a forma de energia cinética, à medida que o objeto se afasta com alguma velocidade relativa [37].

O objetivo é seleccionar os veículos para os quais as duas instituições, a NHTSA e a Euro NCAP, realizam *crash tests*, de modo a poder equivaler as suas energias dissipadas aquando da colisão.

Os dois *crash tests* têm uma metodologia de cálculo diferente no cálculo da energia dissipada, pelo que se procedeu à medição nos *crash tests* da Euro NCAP segundo o processo descrito na secção 3.7, porque esta instituição não disponibiliza os dados aos públicos.

No caso dos testes da NHTSA não foi necessário medições pois os dados já são fornecidos pela base de dados

Após as medições aos *crash tests* da Euro NCAP, calculou-se a energia dissipada para os *crash tests* de ambas as instituições segundo a metodologia de análise de danos do CRASH3.

As equações e informações utilizadas para a determinação da Energia dissipadas estão na secção 2.4 e 2.4. A equação do cálculo da energia dissipada utilizada é a 2.3, para o cálculo dos coeficientes A e B foi a 2.11 e 2.12, do b1 a 2.5. A determinação do perfil de dano para os veículos analisados pela Euro NCAP está descrito na secção 3.7

O método para obter a percentagem de restituição foi realizado aos *crash tests* da Euro NCAP, foi obtido pela atribuição de percentagens de forma arbitrária e multiplicando-o pelas distâncias de profundidade de deformação (C1 a C6) (Figura 3.12), alterando assim o perfil de dano (secção 3.6), e por sua vez alterando a energia dissipada final, já que as outras constantes se mantêm.

Atribuição de percentagens é realizada até a diferença do somatório das energias dissipadas dos *crash tests* de cada instituição for o mais próximo possível de zero.

No total foram analisados 18 veículos dos segmentos A a E. O valor obtido foi uma percentagem de 32,5%. Na secção 4.1 encontra-se os resultados.

### **3.7 ANÁLISE AOS *CRASH TESTS* DA EURO NCAP**

A análise aos *crash tests* da Euro NCAP foi realizada com veículos dentro dos segmentos A a E. Não foram analisados veículos já existentes na base de dados da NHTSA, exceto os utilizados na determinação dos cálculos da percentagem de restituição.

Além dos vídeos dos *crash tests* publicados, a Euro NCAP fornece um conjunto de informações acerca do veículo para teste, entre elas o tipo de estrutura, classe e massa, não fornecendo qualquer informação acerca das deformações do veículo e da barreira. A análise efetuada é essencialmente a partir dos vídeos dos *crash tests* frontais.

A partir do vídeo do veículo (Figura 3.8), obteve-se dois *frames* com o programa Movie Maker. O primeiro *frame* é antes da colisão do veículo na barreira deformável (Figura 3.9), o segundo é durante a colisão do veículo contra a barreira, aquando ocorre uma profundidade máxima de deformação (Figura 3.10) e antes do veículo desviar de trajetória (frame 4 da Figura 3.8)

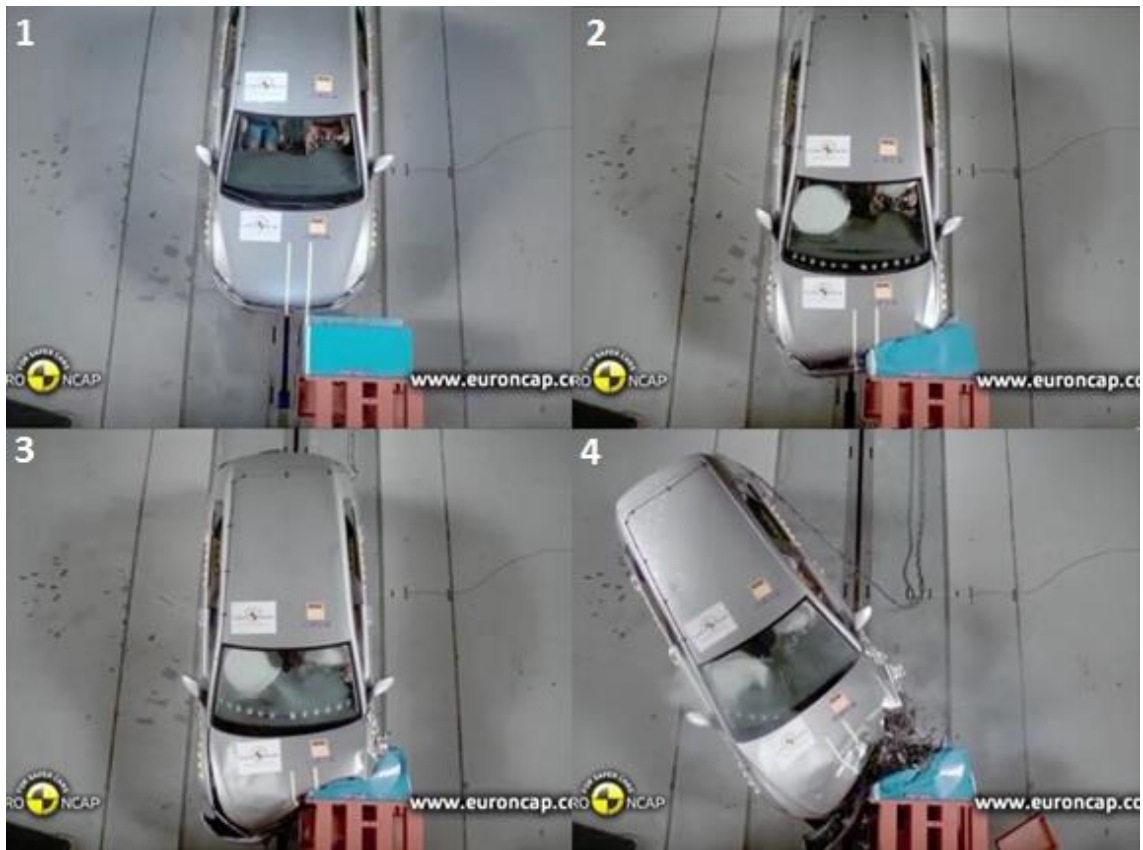


Figura 3.8 - Sequência do crash test frontal Euro NCAP para o Volkswagen Golf 2012 (vista de cima).



Figura 3.9 - Crash tests do Volkswagen Golf 2012 pela Euro NCAP (antes da colisão).



**Figura 3.10 – Crash test do Volkswagen Golf 2012 pela Euro NCAP (deformação máxima antes do desvio).**

No programa Adobe Photoshop procedeu-se à manipulação das imagens, sobrepondo os dois *frames*, de modo a que a estrutura do veículo do primeiro *frame* se encaixasse no do veículo do segundo *frame* (Figura 3.11).



**Figura 3.11 - Sobreposição dos dois *frames* do Volkswagen Golf 2012 no AdobePhotoshop (na figura à direita o frame 1 têm opacidade de 50%).**

Após a sobreposição dos *frames*, é inserida a barreira deformada padrão na zona correspondente à barreira deformada no *crash test*, de modo a ficar sobreposta com esta. Na Figura 3.11 e Figura 3.12 esta barreira está representada com contorno de linha azul.

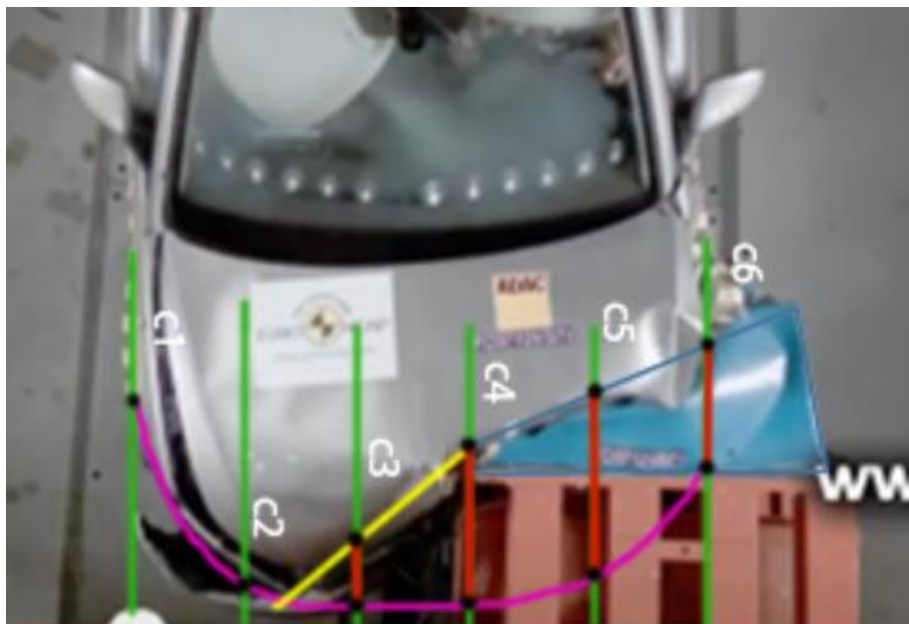
Na Figura 3.11 e na Figura 3.12, a linha amarela corresponde ao arrasto de material por efeito da deformação da área de contacto com a barreira aquando a colisão, visto que quando o veículo embate é arrastado material. Após várias observações verificou-se uma uniformidade nos *crash tests* que diz respeito ao material de arrasto. Este corresponde a 35%, ou seja, além da

deformação da barreira incidir em 40% da largura do veículo é somado mais 35% de material de arrasto, obtendo-se uma área de deformação de 75% da largura do veículo. Na Figura 3.13 está representado o perfil de dano e a área total deformada.

Na Figura 3.11 e na Figura 3.12, as linhas a verde correspondem à divisão da largura do veículo em 5 áreas equidistantes, tendo por base a teoria na secção 2.4.1.1.4.

Na Figura 3.12 está exemplificado para o modelo Volkswagen Golf a metodologia de medição. A linha roxa é o prolongamento do veículo caso não ocorresse a deformação. Os pontos C1 a C6 constituem o perfil de dano (Figura 3.13) e cada uma representa a profundidade da deformação do veículo. Eles resultam das distâncias entre intersecção da linha roxa com a verde, entre a verde e a amarela e entre as linhas verdes e azuis, obtendo como resultado final as linhas vermelhas. Estas linhas correspondem às distâncias entre a deformação do veículo e o seu estado original.

Nos pontos C1 e C2 a distância de zero, porque a deformação por arrasto não engloba o ponto C2 e anterior.



**Figura 3.12 – Referências à profundidade de deformação no Volkswagen Golf 2012. AS distâncias C1 a C6 são as profundidades da deformação.**



**Figura 3.13 - Área a laranja corresponde ao perfil de dano do veículo Volkswagen Golf 2012.**

A lista de veículos analisados e as respetivas medições e seus coeficientes, bem como as imagens analisadas, encontram-se no Anexo C.

Os veículos analisados foram impressos e os respetivos  $C$ 's foram medidos com régua. É de referir que foi necessário converter as medidas realizadas às imagens em centímetros numa escala equivalente à real, através da razão entre a largura do veículo na imagem analisada e a largura real do veículo.





## **4 RESULTADOS E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS**

---



## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

### 4.1 RESTITUIÇÃO

Os procedimentos e métodos de cálculo da restituição estão referidos na secção 3.6. Nos cálculos realizados no Excel, a restituição obtido foi de 32,5%. Esta percentagem é a resultante da restituição no veículo e na estrutura deformável sobre o qual ele bateu.

O valor é obtido pelo diferença do somatório entre energias dissipadas dos *crash tests* dos veículos analisados de cada instituição. Para um valor de de 32,5% esta diferença é a mais próxima de zero (Tabela 4.2).

A diferença percentual entre as energias dissipadas obtidas para uma percentagem de restituição de 32,5% estão na Tabela 4.1.

A variação das energias dissipadas para cada valor de restituição é graficamente representada na Figura 4.1. Os veículos estão disposto por ordem de segmento, é de notar que a energia dissipada vai aumentando ao longo dos segmentos, isto é explicado porque o aumento do segmento implica que os veículos sejam maiores e por consequente a massa que influência a energia absorvida é também maior.

Em certos casos existem grandes desfasamentos entre energias dissipadas dos *crash tests* da Euro NCAP e NHTSA, que pode ser explicado pelas diferenças existentes em certos modelos do mercado europeu para o norte-americano sendo a massa a principal.

Em certos modelos analisados, existe uma diferença entre os anos de realização dos testes da NHTSA e da Euro NCAP, mas apesar disso os mesmos modelos têm a mesma estrutura e não sofreram *upgrades*.

O número de vendas e de modelos de automóveis do Segmento A nos Estados Unidos da América é muito reduzido e devido a esse facto só foi analisado o Chevrolet Spark para esse segmento [40].

**Tabela 4.1 - Comparação entre os *crash tests* da Euro NCAP com uma restituição de 32,5% e da NHTSA e as respetivas energias dissipadas na colisão.**

Nº	Marca	Modelo	Ano teste (Euro NCAP)	Ano teste (NHTSA)	Segmento	Energia Euro NCAP 32,5% (J)	Energia NHTSA (J)
1	Chevrolet	Spark	2009	2013	A	52552	57042
2	Toyota	Yaris	2011	2012	B	56044	49300
3	Chevrolet	Aveo / Sonic	2011	2012	B	59215	63746
4	Honda	Jazz / Fit	2009	2007	B	60128	56331
5	Kia	Rio	2011	2012	B	61525	78618
6	Kia	Soul	2009	2010	B	62869	70672
7	Toyota	Corolla	2013	2014	C	69317	75900
8	Honda	Civic	2012	2013	C	69424	59452
9	Volkswagen	Jetta	2011	2011	C	69961	60831
10	Ford	Focus	2011	2012	C	72218	76871
11	Audi	A4	2008	2013	D	75765	111820
12	Toyota	Prius	2009	2010	D	76302	78016
13	Volkswagen	Passat	2010	2012	D	77753	87962
14	BMW	3series / 328 I	2012	2012	D	80332	53966
15	Ford	Mondeo / Fusion	2007	2010	D	83771	105497
16	Mercedes-Benz	C-Class	2014	2013	D	84362	71293
17	Lexus	IS 300 / IS 250	2013	2013	E	89735	51009
18	Mercedes-Benz	E-Class / E250	2010	2014	E	93228	82911

**Tabela 4.2 - Diferença das energias dissipadas nos crash tests entre a NHTSA e Euro NCAP para uma restituição de 30%, de 32,5% e 35% e o respetivo somatório.**

Nº	Marca	Modelo	Massa veículos Euro NCAP (kg)	Massa veículos NHTSA (kg)	Diferença com 30% de restituição	Diferença com 32,5% de restituição	Diferença com 35% de restituição
1	Chevrolet	Spark	978	1200	-4,75%	-8,55%	-12,62%
2	Toyota	Yaris	1043	1261	15,11%	12,03%	8,73%
3	Chevrolet	Aveo / Sonic	1102	1482	-3,89%	-7,65%	-11,69%
4	Honda	Jazz / Fit	1119	1350	9,59%	6,31%	2,80%
5	Kia	Rio	1145	1377	-23,32%	-27,78%	-32,58%
6	Kia	Soul	1170	1390	-8,49%	-12,41%	-16,63%
7	Toyota	Corolla	1290	1480	-5,67%	-9,50%	-13,61%
8	Honda	Civic	1292	1437	17,35%	14,36%	11,15%
9	Volkswagen	Jetta	1302	1636	16,09%	13,05%	9,79%
10	Ford	Focus	1344	1530	-2,73%	-6,44%	-10,44%
11	Audi	A4	1410	1945	-42,43%	-47,59%	-53,13%
12	Toyota	Prius	1420	1587	1,32%	-2,25%	-6,09%
13	Volkswagen	Passat	1447	1755	-9,18%	-13,13%	-17,38%
14	BMW	3series / 328 I	1495	1747	35,17%	32,82%	30,30%
15	Ford	Mondeo / Fusion	1559	1651	-21,54%	-25,94%	-30,66%
16	Mercedes	C-Class	1570	1900	18,44%	15,49%	12,32%
17	Lexus	IS 300 / IS 250	1670	1856	45,14%	43,16%	41,02%
18	Mercedes	E-Class / E250	1735	2022	14,17%	11,07%	7,73%
Soma					50,38%	-12,94%	-81,01%

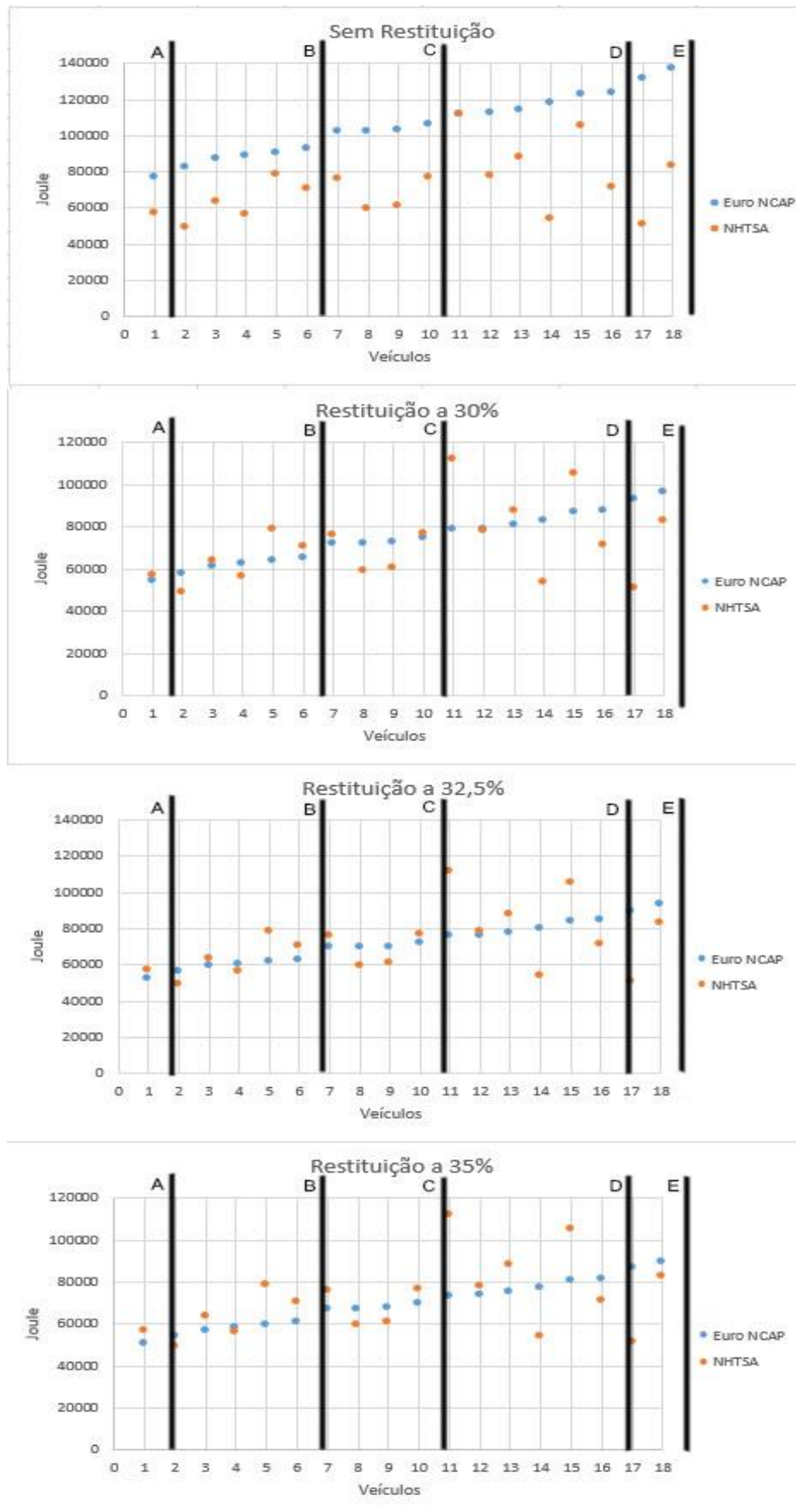
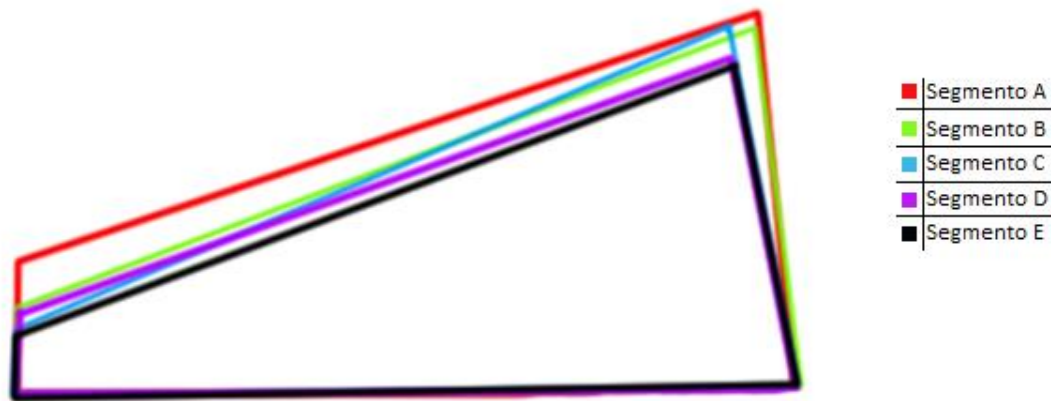


Figura 4.1 - Representação gráfica das energias dissipadas dos *crash tests* analisados do Euro NCAP e NHTSA para percentagens de restituição de 0%, 30%, 32,5% e 35% (lista de veículos numerados na tabela 4.1).

## 4.2 BARREIRA DEFORMADA PADRÃO



**Figura 4.2 - Sobreposição das barreiras deformadas padrão, segmento A a E.**

Na Figura 4.2 está representada a sobreposição das barreiras deformadas padrão (após o *crash test*) obtidas pelo procedimento descrito na secção 3.5. É possível verificar que com a passagem dos segmentos A a E, a área da barreira deformada padrão vai diminuindo. Isto ocorre devido ao facto das dimensões e da massa dos veículos ir aumentando ao longo dos vários segmentos. Para uma mesma velocidade de colisão, a única variável que faz aumentar a energia cinética, e por sua vez a deformação, é a massa, ou seja, consoante seja maior a massa do veículo, menor será a área com que fica a barreira deformada.

## 4.3 MEDIÇÕES E COEFICIENTES DOS VEÍCULOS ANALISADAS DA EURO NCAP

A análise aos veículos dos *crash tests* da Euro NCAP, foi realizada pelos procedimentos enunciados na secção 3.7. No total foram analisados 65 veículos e obtidos os seus coeficientes A e B pelas equações 2.11 e 2.12, o  $b_1$  pela equação 2.5, onde o  $C_{med}$  utilizado foi calculado pela equação 3.3.

Os dados e coeficientes dos veículos analisados foram inseridos na base de dados EXCEL.

A Tabela 4.3 contém um excerto dos resultados obtidos para alguns veículos.

É de referir que em certos casos a má qualidade de imagem dos *crash tests* documentados em vídeo pode ter induzido em erro algumas medições, especialmente nos *crash tests* mais antigos.

Foram analisados os veículos do segmento A a E da Euro NCAP até à última entrada no *website* da Euro NCAP, sendo esta a 1 de Setembro de 2014.

Houve alguns vídeos de veículos que não possuíam o vídeo da câmara superior do *crash test*, de modo a poder obter o perfil de deformação, não sendo realizada nenhuma análise a estes.

**Tabela 4.3 - Excerto dos resultados obtidos para alguns dos veículos analisados**

Marca	Modelo	Ano	Segmento	Massa (kg)	Largura carro (m)	L deformação (m)	$C_{med}$ (m)	b1 (1/s)	A (N/m)	B (N/m <sup>2</sup> )
FIAT	PANDA	2011	A	940	1643	1232	0,51	30,4	51414	703105
OPEL	ADAM	2013	A	1067	1720	1290	0,56	27,9	51232	643865
FORD	FIESTA	2012	B	1100	1722	1292	0,50	30,8	58255	808467
SKODA	FABIA	2007	B	1055	1642	1232	0,48	32,2	61284	889558
VOLKSWAGEN	Polo	1997	B	890	1655	1241	0,46	33,6	53460	808778
KIA	CEE'D	2007	C	1234	1790	1343	0,58	26,8	54720	660984
SEAT	LEON	2012	C	1205	1810	1358	0,58	26,9	52971	641397
VOLKSWAGEN	GOLF	2012	C	1205	1799	1349	0,58	26,9	53417	648267
CITROEN	C5	2004	D	1488	1770	1328	0,83	18,8	46670	394278
PEUGEOT	508	2011	D	1405	1853	1390	0,59	26,5	59403	708214
BMW	5series	2004	E	1560	1846	1385	0,82	18,9	47272	402416

No Anexo A encontra-se a tabela com todas as informações e medições dos veículos analisados.

Uma nota importante referente à análise é que foi analisado o Volkswagen Scirocco apesar de pertencer ao segmento S, mas como o veículo foi construído sobre a plataforma do Volkswagen Golf está inserido no segmento C, e analisou-se com base na barreira deformada padrão para este segmento.

#### 4.4 APLICAÇÃO PRÁTICA COM O PROGRAMA CRASH3

A Figura 4.3 demonstra a uma aplicação prática do programa desenvolvido, o modelo aplicado foi o Ford Focus 2008, onde os dados foram obtidos a partir da base de dados da NHTSA. Enquanto na Figura 4.4 o modelo aplicado foi o Volkswagen Golf 2012 com *crash test* realizado pela Euro NCAP, onde os seus dados foram obtidos pelas metodologias anteriormente descritas.

De modo a poder realizar um simples comparação, os valores de área deformada são, 0,5 metros de largura e 0,25 de profundidade. Obtendo uma velocidade de impacto de aproximadamente 21 km/h e uma energia dissipada de aproximadamente 24000 J para o



modelo Ford Focus. Para o modelo Volkswagen Golf a velocidade de impacto foi de 26,8 km/h e uma energia dissipada de 33339 J.

Na versão antiga do programa foi aplicado a um modelo equivalente, o carro tipo 2 com uma massa de 1386 kg, foi obtida uma velocidade de 14,8 km/h e uma energia dissipada de 11667 J (Figura 4.5).



Figura 4.3- Execução do programa para o modelo Ford Focus 2008 *crash test* da NHTSA.



Figura 4.4 - Execução do programa para o modelo Volkswagen Golf 2012 *crash test* da Euro NCAP.

The screenshot shows a software window titled "Deformation" with the following fields and values:

Field	Value	Unit
Name:		
Cartype:	Car type 2 (1386 kg)	
Place:	Front	
Mass:	1386	kg
Contact area (width):	0,5	m
Crush (deformation):	0,25	m
Initial speed:	14.77096	km/h
Final speed:	0	km/h
Energy:	11666.63	J

At the bottom of the window are three buttons: "Calculate" (highlighted with a dashed border), "Clear", and "Close".

**Figura 4.5 - Execução do programa anterior, para um veículo equivalente ao Ford Focus 2008.**

É possível verificar as diferenças entre a versão anterior do programa e a nova com a base de dados atualizada. Verifica-se uma aumento na velocidade de impacto e um aumento de mais de 50% na energia dissipada.

## **5 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTURO**

---



## 5 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

O Crash3 é uma metodologia criada nos Estados Unidos da América com base em equações matemáticas e observações dos estudos de Campbell. Esta metodologia está assente nos coeficientes de rigidez introduzidos para gerar resultados.

A estrutura dos veículos não é constante, ou seja, consoante são realizados novos desenvolvimentos e a tecnologia vai progredindo, os veículos também acompanham essa tendência, quer seja pela introdução de novos materiais na estrutura, quer alterações ao seu *design*, ou mesmo pela implementação de outros tipos de tecnologias. Isto altera os coeficientes de rigidez que estão dependentes do comportamento da estrutura do veículo nas colisões.

O trabalho desenvolvido têm a sua origem neste ponto, atribuir coeficientes de rigidez para cada veículo e modelo, melhorando a precisão do cálculo em veículos deformados, de modo a criar uma base de dados contendo esta informação.

Os dados foram obtidos a partir de duas instituições a NHTSA e a Euro NCAP.

A NHTSA faculta os seus dados técnicos a qualquer entidade, o mesmo não acontece com a Euro NCAP. Como tal foi necessário criar um método de análise a partir dos vídeos de *crash tests* publicados. O método criado consiste na sobreposição de *frames* de modo a obter o perfil de dano do veículo, e poder medir a deformação na imagem. Devido a este facto poderão existir diversos erros nas medições obtidas dos *crash tests*, além de que nem sempre o ângulo de captura da imagem pela câmara era o melhor para a análise.

As similaridades dos *crash tests* e das suas barreiras deformadas entre cada segmento são grandes, devido a este facto criou-se de barreiras deformadas padrão para os segmentos de A a E, com base nas imagens das barreiras deformadas dos *crash tests*.

O próximo passo foi calcular a percentagem de restituição a partir dos *crash tests* europeus comparando com os *crash tests* americanos em veículos iguais. A percentagem obtida foi de 32,5%, que é considerado uma restituição bastante elevada.

Na análise aos veículos de *crash test* da Euro NCAP, não foram analisados veículos de largas dimensões como carrinhas, apenas foram analisados veículos dentro do segmento A a E, o que corresponde a veículos ligeiros de passageiros.

O primeiro *crash tests* realizado pela Euro NCAP foi em 1997, pelo que para veículos europeus anteriores a 1997 os dados são escassos ou inexistentes.

A base de dados requer constante atualização pois sempre são lançados novos veículos no mercado.

Para o melhoramento do programa seria necessário obter os coeficientes de rigidez para a zona lateral dos veículos. Como a NHTSA fornece os dados poder-se-á usar uma metodologia de análise para a obtenção do perfil de deformação similar à que foi usada neste trabalho para a parte frontal.

Os *crash tests* laterais de ambas as instituições são idênticos pelo que seria proveitoso compará-los numa análise aos veículos comuns para os quais existe *crash tests* e verificar as suas diferenças em termo de energia dissipada.

## **6 REFERÊNCIAS**

---





## 6 REFERÊNCIAS

- [1] J. S. Ogden, Methods of Investigating and Reconstructing Minor Damage, Low-Velocity Motor Vehicle Accidents, A thesis submitted to the University of Colorado at Denver in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science Civil Engineering, 1995.
- [2] "Road Vehicles - Types - Terms and definitions, ISO 3833-1977," International Standard.
- [3] "<http://www.thefreedictionary.com/hatchback>," [Online].
- [4] "[http://en.wikipedia.org/wiki/File:Three\\_body\\_styles\\_with\\_pillars\\_and\\_boxes.png](http://en.wikipedia.org/wiki/File:Three_body_styles_with_pillars_and_boxes.png)," [Online].
- [5] NHTSA. [Online]. Available: <http://www.safercar.gov/Vehicle+Shoppers/5-Star+FAQ>.
- [6] "Segmentos," [Online]. Available: [http://www.business-standard.com/article/markets/get-your-car-segments-right-103111301084\\_1.html](http://www.business-standard.com/article/markets/get-your-car-segments-right-103111301084_1.html).
- [7] C. o. t. E. Communities, "Case No COMP/M.1406 - Hyundai/KIA, REGULATION (EEC) No 4064/89," Office for Official Publications of the European Communities.
- [8] "Segments," [Online]. Available: <http://www.autotrends.org/segments/>.
- [9] "segmento A," [Online]. Available: <http://fiatgroupworld.com/2012/05/13/learning-about-cars-the-a-segment/>.
- [10] "segment B," [Online]. Available: <http://fiatgroupworld.com/2012/05/15/learning-about-cars-the-b-segment/>.
- [11] "C Segment," [Online]. Available: <http://fiatgroupworld.com/2012/05/20/learning-about-cars-the-c-segment/>.
- [12] "C- Segment," [Online]. Available: <http://www.autotrends.org/segments/c-segment/>.
- [13] "segment D," [Online]. Available: <http://fiatgroupworld.com/2012/05/28/learning-about-cars-the-d-segment/>.

- [14] “E segment,” [Online]. Available: <http://fiatgroupworld.com/2012/06/06/learning-about-cars-the-e-segment/>.
- [15] NHTSA, “<http://www.nhtsa.gov/About+NHTSA/Who+We+Are+and+What+We+Do>,” [Online]. [Acedido em Setembro 2014].
- [16] “<http://www.nhtsa.gov/About>,” [Online]. [Acedido em Setembro 2014].
- [17] EURO NCAP, “<http://www.euroncap.com/about.aspx>,” [Online]. [Acedido em Setembro 2014].
- [18] P. J. M. C. Adrian Hobbs, “Development of the European New Car Assessment Programme,” *Transport Research Laboratory, United Kingdom, Paper Number 98-S11-0-06*.
- [19] E. NCAP, “<http://euroncap.com/Content-Web-Faq/21982f7f-a312-49db-99e0-8e38e37004de/the-testing-process.aspx>,” [Online].
- [20] EURO NCAP, “<http://www.euroncap.com/members.aspx>,” [Online]. [Acedido em Setembro 2014].
- [21] “Updated Review of Potential Test Procedures for FMVSS N°208,” Office of Vehicle Safety Research, October 1999.
- [22] N. H. T. S. S. A. U.S. Department of Transportation, Laboratory Test Procedure For FMVSS 208, Occupant Crush Protection, FMVSS 212, Windshield Mounting, FMVSS 219, Windshield Zone Intrusion, FMVSS 310F, Fuel System Integrity – Frontal, July 27, 2005.
- [23] NHTSA. [Online]. Available: <http://www.nhtsa.gov/cars/rules/crashworthy/congprep5/Congup5.html#Congup5AppendixB>.
- [24] N. H. T. S. ADMINISTRATION, “Laboratory test procedures for FMVSS No. 214 “DYNAMIC” SIDE IMPACT PROTECTION,” 2006.
- [25] “DIRECTIVA 96/79/CE DO PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO,” *Jornal Oficial das Comunidades Europeias*, n° relativa à proteção dos ocupantes dos veículos a motor em caso de colisão frontal e que altera a Directiva 70/156/CE, 16 de Dezembro 1996.

- [26] “DIRECTIVA 96/27/CE DO PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO,” nº relativa à proteção dos ocupantes dos veículos a motor em caso de colisão lateral e que altera a Directiva 70/156/CE, 20 de Maio de 1996.
- [27] E. NCAP, Frontal Impact Testing Protocol, version 6.0.2 October 2013.
- [28] E. NCAP. [Online]. Available: <http://euroncap.com/tests/frontimpact.aspx>.
- [29] E. NCAP, “Euro NCAP - Side Impact Testng Protocol,” August 2012.
- [30] Mchenrysoftware,  
“<http://www.mchenrysoftware.com/medit32/readme/msmac/default.htm>,” [Online].  
[Acedido em Setembro 2014].
- [31] Crash 3 Technical Manual, United States Department of Transportation, National Highway Traffic Safety Administration, Nacional Center For Statistics And Analysis, Accidente Investigation Division.
- [32] B. G. McHenry, “The Algorithms of Crash,” McHenrySoftware, Unites States of America, 2001.
- [33] G. Y. B. J. E. F. James A. Neptune, A Method for Quantifying Vehicle Crush Coefficients, SAE Paper 920607, 1992.
- [34] NHTSA, “<http://www-nrd.nhtsa.dot.gov/database/veh/veh.htm>,” [Online].
- [35] NHTSA, Test Reference Guide: Volume I - Vehicle Tests, 2006.
- [36] H. Nicușor-Valentin, Improve an existent computer model and to produce a report on his work, Thesis of Master in Mechanical Engineering, 2013.
- [37] R. S. J. D. Jeremy Daily, “Crush Analysis with Under-rides and the Coefficient of Restitution,” em *24th Annual Special Problems in Traffics Crash Reconstruction*, Institute of Police Technology and Manegement's, 27 April 2006.
- [38] R. J. J. M. Brian Gilbert, “Using Barrier Load Cell Data to Generate Stiffness Coefficients,” *McCarthy Engineering Inc. / Vehiclemetrics Inc.*
- [39] A. V. S. H. B. G. Jon Neades. AiTS, “From Test Collisions to Stiffness Coefficients”.

- [40] “USA sales vehicles,” [Online]. Available: <http://www.goodcarbadcar.net/2014/01/usa-vehicle-sales-rankings-by-model-december-2013-year-end.html>.
- [41] [Online]. Available: [http://en.wikipedia.org/wiki/Category:Car\\_classifications](http://en.wikipedia.org/wiki/Category:Car_classifications).
- [42] E. NCAP, Technical Bulletin - AE-MDB Specification, 2013.
- [43] Aidamage3 Manual, Mc Henry Software.
- [44] “<http://www.allgov.com/departments/department-of-transportation-dot/national-highway-traffic-safety-administration?agencyid=7241>,” [Online]. [Acedido em Setembro 2014].

## **ANEXO A**

### **Tabelas das medições e coeficientes calculados dos *crash tests* da Euro NCA**

---



Tabela A.0.1 - Valores obtidas a partir das medições às imagens analisadas (Anexo B)

Marca	Modelo	ANO Teste	Estrutura	Segmento	L	C1	C2	C3	C4	C5	C6
ALFA ROMEO	MiTo	2008	3hatchback	B	105,5	0	0	19	41	45,5	24
ALFA ROMEO	Giulietta	2010	5hatchback	C	79	0	0	10	19	21	16
AUDI	A3	2012	3hatchback	C	82	0	0	10	23	28	19
AUDI	A1	2010	3hatchback	B	60,5	0	0	9	20	21,5	15
AUDI	A6	2004	4saloon	E	99	0	0	21	43	51,5	15
AUDI	A6	2011	4saloon	E	109	0	0	16	34	41	20
BMW	1series	2004	5hatchback	C	100	0	0	12	24	30	22
BMW	1series	2012	5hatchback	C	91	0	0	11	31	33,5	21
BMW	5series	2004	executive saloon	E	105,5	0	0	22	47	49,5	22
CITROEN	DS4	2011	5hatchback	C	69,5	0	0	9	21	21,5	14
CITROEN	DS5	2011	5hatchback	D	74,5	0	0	13	24	25,5	14
CITROEN	C5	2009	5hatchback	D	90,5	0	0	16	36	38,5	30
CITROEN	C4	2010	5hatchback	C	73	0	0	7	13	15,5	16
CITROEN	DS3	2009	5hatchback	B	70	0	0	9	19	22,5	16
CITROEN	C5	2004	saloon	D	88	0	0	19	41	44	19
FAIT	GrandePunto	2005	3hatchback	B	61,5	0	0	14	27	27,5	14
FIAT	Panda	2011	5hatchback	A	67,5	0	0	9	18	21,5	18
FIAT	500	2007	3hatchback	A	78	0	0	9	19	22	20
FIAT	Seicento	2000	3hatchback	A	69,5	0	0	15	31	34,5	18
FIAT	Brava	1998	5hatchback	C	103,5	0	0	14	31	37,5	23
FIAT	Punto	1997	3hatchback	B	65	0	0	10	21	25,5	16
FORD	Fiesta	2012	5hatchback	B	85	0	0	14	23	24	18
KIA	Cee'd	2007	5hatchback	C	82	0	0	13	25	26,5	18
KIA	Cee'd	2012	5hatchback	C	68,5	0	0	9	22	22,5	15
KIA	Picanto	2011	5hatchback	A	55	0	0	8	17	18	14
LANCIA	Delta	2008	4saloon	C	73,5	0	0	13	28	28,5	16
MAZDA	Mazda2	2007	5hatchback	B	84	0	0	17	35	36	18
MERCEDES	A-Class	2012	5hatchback	C	70	0	0	11	21	24,5	15
OPEL	Adam	2013	3hatchback	A	64,5	0	0	10	19	21,5	15
OPEL	Corsa	1997	3hatchback	B	62	0	0	10	21	25,5	14
OPEL	Corsa	2006	3hatchback	B	89	0	0	15	26	27,5	19
OPEL	Insignia	2008	4saloon	D	90	0	0	18	34	34,5	18
OPEL	Astra	2009	5hatchback	C	89	0	0	17	35	36	20
OPEL	Vectra	1997	5hatchback	D	75	0	0	16	32	33,5	17
OPEL	Omega	1998	4saloon	E	100	0	0	17	33	35	14
PEUGEOT	508	2011	4saloon	D	94,5	0	0	14	29	30,5	18
PEUGEOT	308	2013	5hatchback	C	66	0	0	7	15	19	14
PEUGEOT	208	2012	5hatchback	B	80	0	0	11	21	22,5	17

PEUGEOT	308	2009	5hatchback	C	68,5	0	0	11	21	22,5	20
PEUGEOT	306	1998	5hatchback	C	77	0	0	13	26	29,5	27
PEUGEOT	406	1997	4saloon	D	78	0	0	16	35	39	16
RENAULT	Twingo	2007	3hatchback	A	71,5	0	0	13	26	27	19
RENAULT	Clio	2012	5hatchback	B	66,5	0	0	12	24	24,5	14
RENAULT	Mégane	2014	5hachback	C	86,5	0	0	13	28	30	18
RENAULT	Laguna	1997	5hatchback	D	83,5	0	0	10	21	23,5	19
RENAULT	Mégane	1999	5hatchback	C	104,5	0	0	24	45	50	25
SEAT	Ibiza	2011	5hatchback	B	123	0	0	17	32	33,5	2,8
SEAT	Leon	2012	5hatchback	C	86,5	0	0	13	26	30,5	14
SEAT	Exeo	2010	4saloon	D	92,5	0	0	15	31	31,5	20
SKODA	Fabia	2000	5hatchback	B	106	0	0	16	32	35	24
SKODA	Fabia	2007	5hatchback	B	61,5	0	0	9	17	17	15
SKODA	Fabia	2014	5hatchback	B	84,5	0	0	11	20	20,5	20
SKODA	Rapid	2012	5hatchback	C	82,5	0	0	17	34	36,5	19
SKODA	Superb	2008	4saloon	D	90	0	0	17	32	35,5	19
SKODA	Octavia	2004	5hatchback	C	99,5	0	0	19	35	39	22
SKODA	Octavia	2013	5hatchback	C	67,5	0	0	11	29	19,5	15
SUZUKI	SX4	2013	5hatchback	C	68,5	0	0	11	22	23	15
SUZUKI	Splash	2008	5hatchback	A	88	0	0	13	28	29,5	19
TOYOTA	Auris	2013	5hatchback	C	68	0	0	10	20	23	17
VOLKSWAGEN	Polo	2009	5hatchback	B	87	0	0	13	28	30,5	20
VOLKSWAGEN	Polo	1997	3hatchback	B	61	0	0	7	15	17,5	15
VOLKSWAGEN	Scirocco	2009	3hatchback	C/S	66,5	0	0	10	21	23,5	15
VOLKSWAGEN	Golf	2008	5hatchback	C	88	0	0	14	27	31,5	21
VOLKSWAGEN	Passat	1997	4saloon	D	81	0	0	13	24	26	17
Volkswagen	Golf	2012	5hatchback	C	67,5	0	0	7	18	22,5	15

**Tabela A.0.2 - Valores da tabela 6.1 com equivalência à escala real e aplicando a restituição de 32,5 %.**

Marca	Modelo	Ano teste	L(real) mm	L/L(real)	C1 mm	C2 mm	C3 mm	C4 mm	C5 mm	C6 mm
ALFA ROMEO	MiTo	2008	1721	0,0613	0	0	209	446	501	259
ALFA ROMEO	Giulietta	2010	1798	0,0439	0	0	154	292	323	238
AUDI	A3	2012	1777	0,0461	0	0	146	329	410	271
AUDI	A1	2010	1416	0,0427	0	0	134	308	340	237
AUDI	A6	2004	1855	0,0534	0	0	266	544	651	190
AUDI	A6	2011	1874	0,0582	0	0	186	395	476	232
BMW	1series	2004	1751	0,0571	0	0	142	278	355	254
BMW	1series	2012	1765	0,0516	0	0	144	406	439	268
BMW	5series	2004	1846	0,0572	0	0	260	549	585	254
CITROEN	DS4	2011	1810	0,0384	0	0	158	360	378	246



CITROEN	DS5	2011	1871	0,0398	0	0	220	407	432	237
CITROEN	C5	2009	1852	0,0489	0	0	221	497	532	414
CITROEN	C4	2010	1789	0,0408	0	0	116	215	256	256
CITROEN	DS3	2009	1715	0,0408	0	0	141	306	372	256
CITROEN	C5	2004	1770	0,0497	0	0	251	550	597	258
FAIT	GrandePunto	2005	1687	0,0365	0	0	250	491	509	259
FIAT	Panda	2011	1643	0,0411	0	0	148	296	353	288
FIAT	500	2007	1627	0,0479	0	0	127	268	310	275
FIAT	Seicento	2000	1508	0,0461	0	0	212	454	505	264
FIAT	Brava	1998	1750	0,0591	0	0	160	354	428	257
FIAT	Punto	1997	1625	0,04	0	0	169	354	430	262
FORD	Fiesta	2012	1722	0,0494	0	0	191	308	328	246
KIA	Cee'd	2007	1790	0,0458	0	0	192	368	390	258
KIA	Cee'd	2012	1780	0,0385	0	0	158	377	395	263
KIA	Picanto	2011	1595	0,0345	0	0	147	323	352	274
LANCIA	Delta	2008	1797	0,0409	0	0	215	454	470	264
MAZDA	Mazda2	2007	1695	0,0496	0	0	225	470	490	238
MERCEDES	A-Class	2012	1780	0,0393	0	0	180	360	421	257
OPEL	Adam	2013	1720	0,0375	0	0	171	342	387	261
OPEL	Corsa	1997	1610	0,0385	0	0	175	359	447	237
OPEL	Corsa	2006	1737	0,0512	0	0	191	343	362	244
OPEL	Insignia	2008	1856	0,0485	0	0	251	466	480	251
OPEL	Astra	2009	1814	0,0491	0	0	234	475	495	275
OPEL	Vectra	1997	1700	0,0441	0	0	237	482	513	260
OPEL	Omega	1998	1785	0,056	0	0	205	398	422	163
PEUGEOT	508	2011	1853	0,051	0	0	185	384	404	232
PEUGEOT	308	2013	1815	0,0364	0	0	130	278	353	260
PEUGEOT	208	2012	1739	0,046	0	0	154	301	330	242
PEUGEOT	308	2009	1815	0,0377	0	0	188	376	402	358
PEUGEOT	306	1998	1380	0,0558	0	0	157	315	357	321
PEUGEOT	406	1997	1764	0,0442	0	0	237	534	595	244
RENAULT	Twingo	2007	1640	0,0436	0	0	194	395	418	286
RENAULT	Clio	2012	1732	0,0384	0	0	202	413	431	246
RENAULT	Mégane	2014	1808	0,0478	0	0	183	395	423	254
RENAULT	Laguna	1997	1752	0,0477	0	0	135	297	333	262
RENAULT	Mégane	1999	1698	0,0615	0	0	263	488	548	269
SEAT	Ibiza	2011	1693	0,0727	0	0	153	293	311	26
SEAT	Leon	2012	1810	0,0478	0	0	177	360	431	198
SEAT	Exeo	2010	1772	0,0522	0	0	194	401	407	252
SKODA	Fabia	2000	1650	0,0642	0	0	163	331	368	252
SKODA	Fabia	2007	1642	0,0375	0	0	153	306	306	261
SKODA	Fabia	2014	1642	0,0515	0	0	138	262	269	262
SKODA	Rapid	2012	1706	0,0484	0	0	230	475	509	265
SKODA	Superb	2008	1817	0,0495	0	0	225	429	484	252
SKODA	Octavia	2004	1769	0,0562	0	0	222	414	468	264

SKODA	Octavia	2013	1814	0,0372	0	0	190	517	354	263
SUZUKI	SX4	2013	1765	0,0388	0	0	191	383	400	252
SUZUKI	Splash	2008	1680	0,0524	0	0	168	354	380	245
TOYOTA	Auris	2013	1760	0,0386	0	0	175	349	402	288
VOLKSWAGEN	Polo	2009	1682	0,0517	0	0	170	359	398	261
VOLKSWAGEN	Polo	1997	1655	0,0369	0	0	128	266	320	266
VOLKSWAGEN	Scirocco	2009	1810	0,0367	0	0	175	386	432	266
VOLKSWAGEN	Golf	2008	1779	0,0495	0	0	184	368	430	287
VOLKSWAGEN	Passat	1997	1740	0,0466	0	0	181	348	377	239
VOLSKWAGEN	Golf	2012	1799	0,0375	0	0	126	315	405	270

**Tabela A.0.3 - Veículos analisados e respectivas larguras de deformação, Cmed e Coeficientes.**

Marca	Modelo	Ano teste	L deformação mm	Cmed m	b1 (1/s)	A (N/m <sup>2</sup> )	B (N/m <sup>2</sup> )
ALFA ROMEO	MiTo	2008	1291	0,70	22,3	44529	447283
ALFA ROMEO	Giulietta	2010	1349	0,48	32,5	71471	1047736
AUDI	A3	2012	1333	0,56	27,8	57121	714452
AUDI	A1	2010	1062	0,49	31,7	73798	1052513
AUDI	A6	2004	1391	0,85	18,4	45200	374496
AUDI	A6	2011	1406	0,64	24,4	63520	697360
BMW	1series	2004	1313	0,49	31,7	66772	951951
BMW	1series	2012	1324	0,62	25,1	57473	649979
BMW	5series	2004	1385	0,82	18,9	47272	402416
CITROEN	DS4	2011	1358	0,55	28,1	55320	699545
CITROEN	DS5	2011	1403	0,63	24,6	59646	662054
CITROEN	C5	2009	1389	0,79	19,6	50384	444929
CITROEN	C4	2010	1342	0,39	39,9	79553	1429865
CITROEN	DS3	2009	1286	0,52	30,0	55713	753565
CITROEN	C5	2004	1328	0,83	18,8	46670	394278
FAIT	GrandePunto	2005	1232	0,51	30,4	51414	703105
FIAT	Panda	2011	1265	0,74	21,0	39595	374054
FIAT	500	2007	1220	0,46	33,8	57233	872059
FIAT	Seicento	2000	1131	0,71	22,0	32557	322613
FIAT	Brava	1998	1313	0,59	26,6	48437	580138
FIAT	Punto	1997	1219	0,59	26,3	41534	492604
FORD	Fiesta	2012	1292	0,50	30,8	58255	808467
KIA	Cee'd	2007	1343	0,58	26,8	54720	660984
KIA	Cee'd	2012	1335	0,58	26,9	56557	684951
KIA	Picanto	2011	1196	0,52	29,8	49485	664112
LANCIA	Delta	2008	1348	0,69	22,7	52620	537013
MAZDA	Mazda2	2007	1271	0,70	22,1	38364	381541
MERCEDES	A-Class	2012	1335	0,59	26,4	57840	686530
OPEL	Adam	2013	1290	0,56	27,9	51232	643865

OPEL	Corsa	1997	1208	0,60	26,0	41753	488700
OPEL	Corsa	2006	1303	0,54	28,6	52359	674115
OPEL	Insignia	2008	1392	0,71	22,0	53947	533759
OPEL	Astra	2009	1361	0,72	21,5	46277	448545
OPEL	Vectra	1997	1275	0,73	21,2	47929	457154
OPEL	Omega	1998	1339	0,60	26,1	63054	742252
PEUGEOT	508	2011	1390	0,59	26,5	59403	708214
PEUGEOT	308	2013	1361	0,49	31,8	68827	986014
PEUGEOT	208	2012	1304	0,49	31,8	58929	844678
PEUGEOT	308	2009	1361	0,62	25,1	54134	612262
PEUGEOT	306	1998	1035	0,54	28,9	68871	897394
PEUGEOT	406	1997	1323	0,81	19,2	43839	378796
RENAULT	Twingo	2007	1230	0,62	25,1	43437	490509
RENAULT	Clio	2012	1299	0,63	24,7	45845	509632
RENAULT	Mégane	2014	1356	0,61	25,4	54093	619769
RENAULT	Laguna	1997	1314	0,49	31,8	70604	1012235
RENAULT	Mégane	1999	1274	0,77	20,2	37303	339213
SEAT	Ibiza	2011	1270	0,42	37,2	68168	1141305
SEAT	Leon	2012	1358	0,58	26,9	52971	641397
SEAT	Exeo	2010	1329	0,61	25,6	61106	704137
SKODA	Fabia	2000	1238	0,53	29,1	56234	737253
SKODA	Fabia	2007	1232	0,48	32,2	61284	889558
SKODA	Fabia	2014	1232	0,43	36,1	70455	1145314
SKODA	Rapid	2012	1280	0,73	21,4	40542	390416
SKODA	Superb	2008	1363	0,68	22,9	55474	571094
SKODA	Octavia	2004	1327	0,66	23,4	46403	489174
SKODA	Octavia	2013	1361	0,65	24,0	50053	542011
SUZUKI	SX4	2013	1324	0,59	26,3	49545	586072
SUZUKI	Splash	2008	1260	0,55	28,0	50903	643152
TOYOTA	Auris	2013	1320	0,58	26,8	59995	724858
VOLKSWAGEN	Polo	2009	1349	0,54	28,6	56718	730871
VOLKSWAGEN	Polo	1997	1262	0,57	27,1	49416	603911
VOLKSWAGEN	Scirocco	2009	1241	0,46	33,6	53460	808778
VOLKSWAGEN	Golf	2008	1358	0,61	25,4	53176	608494
VOLKSWAGEN	Passat	1997	1334	0,61	25,5	50474	579597
VOLSKWAGEN	Golf	2012	1349	0,58	26,9	53417	648267

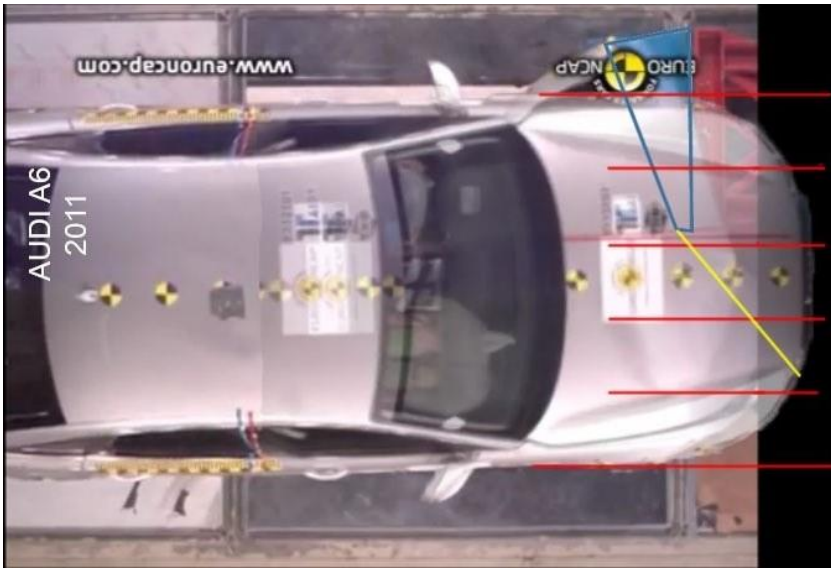


## **ANEXO B**

# **Imagens dos Veículos Analisados aos Crash Tests da Euro NCAP**

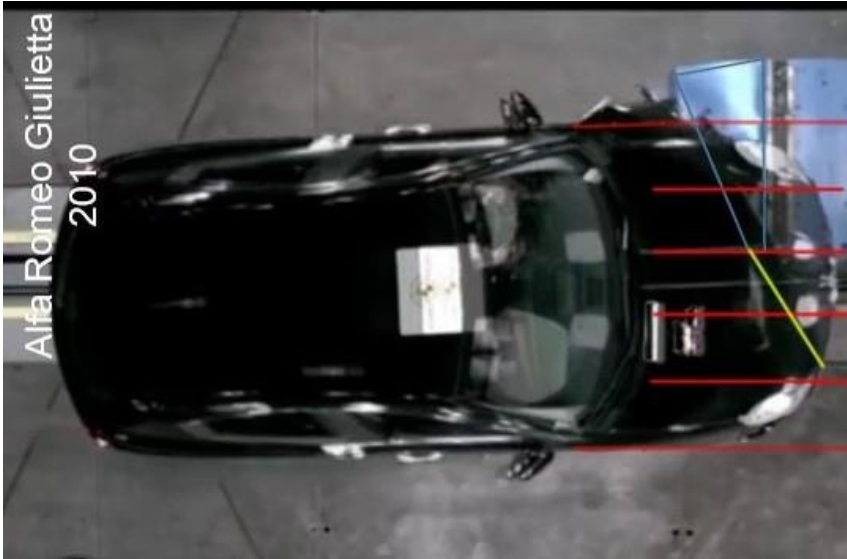
---

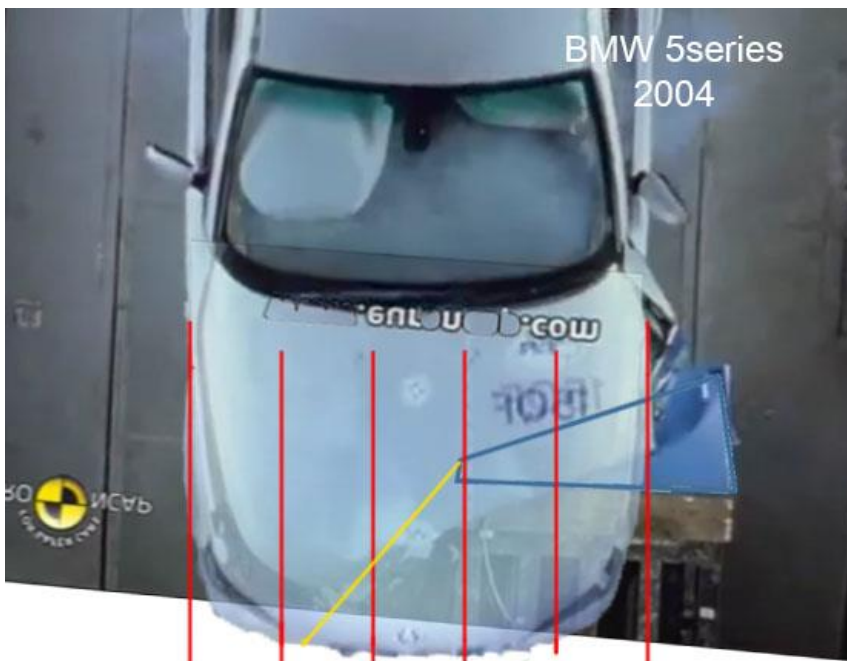
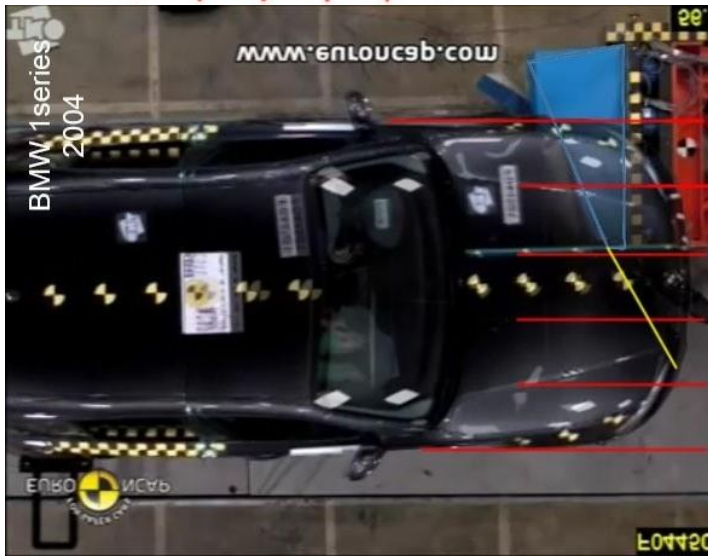


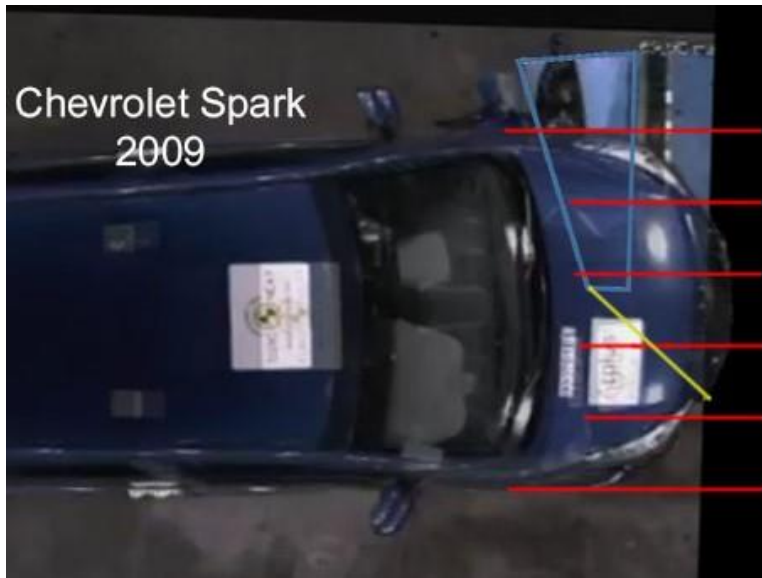
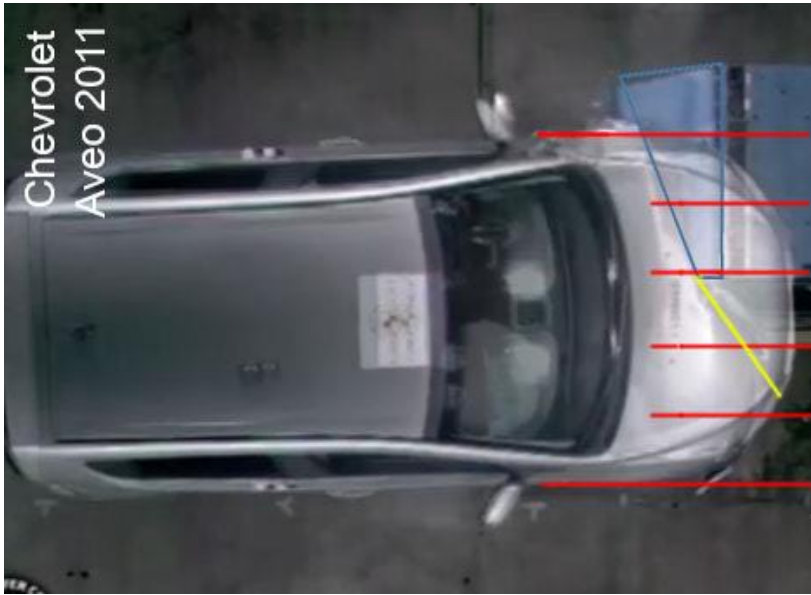








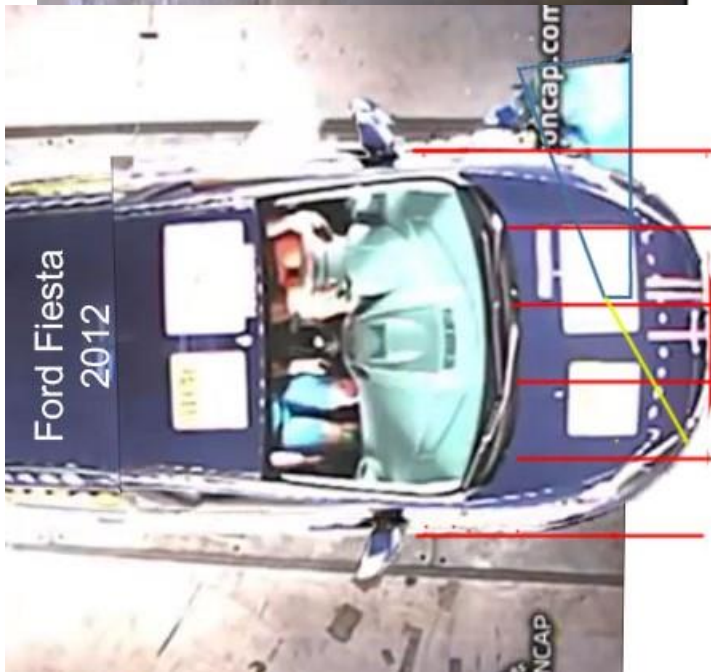
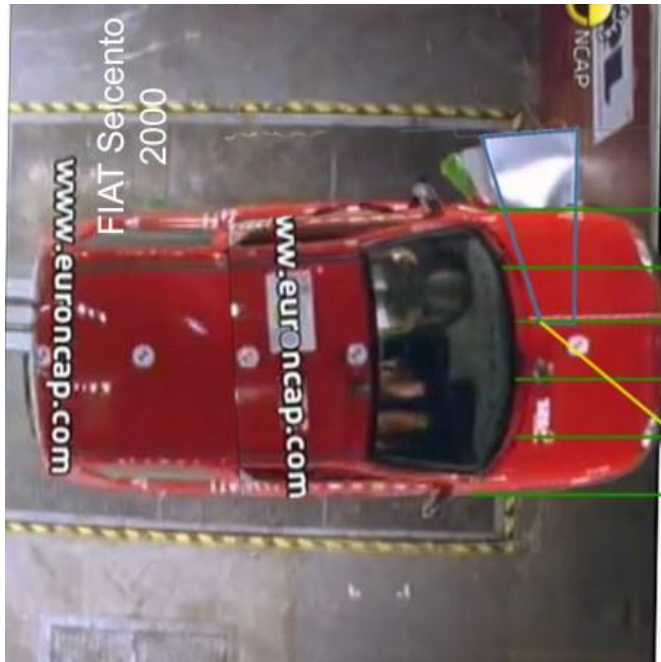






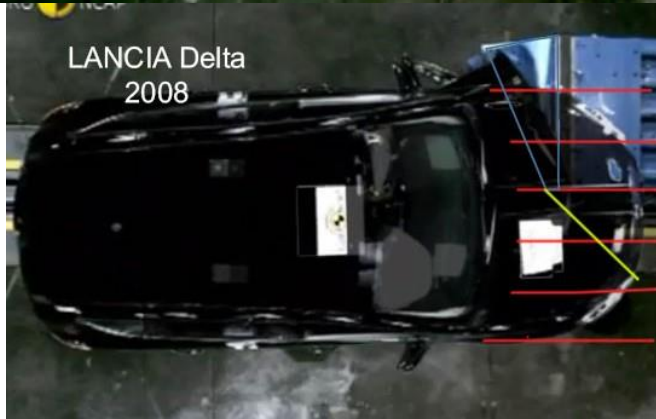
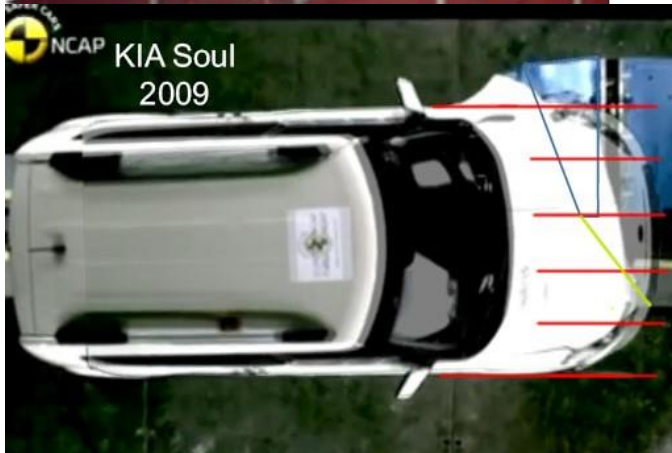
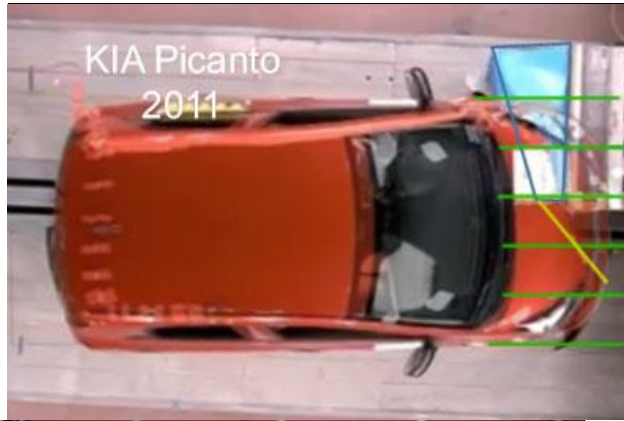


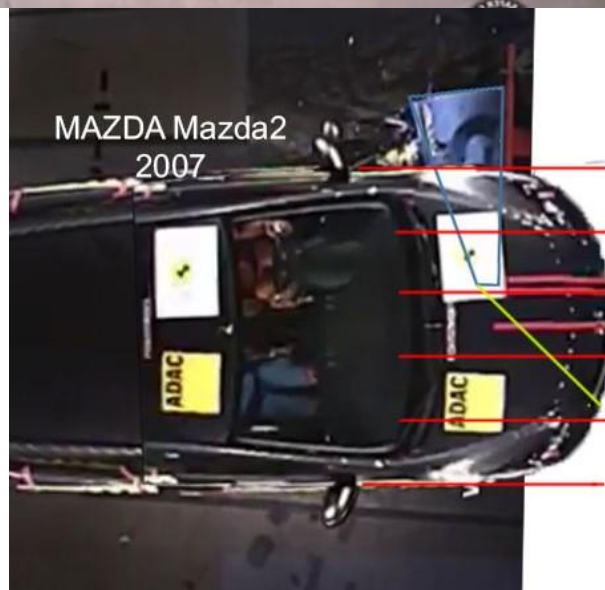
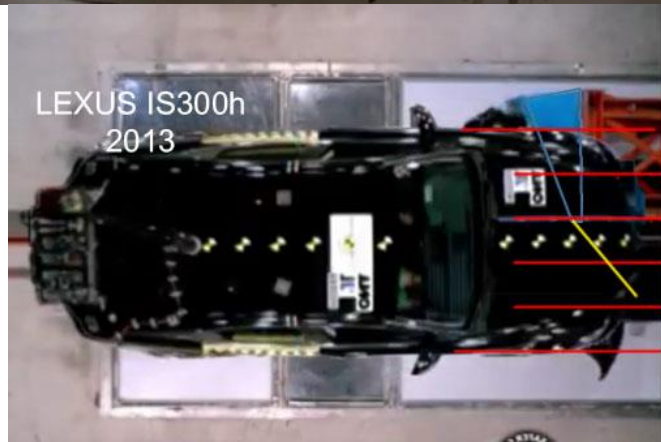
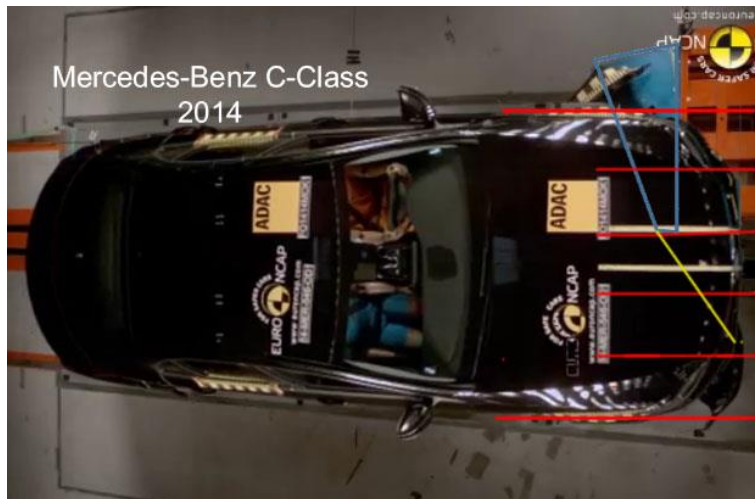


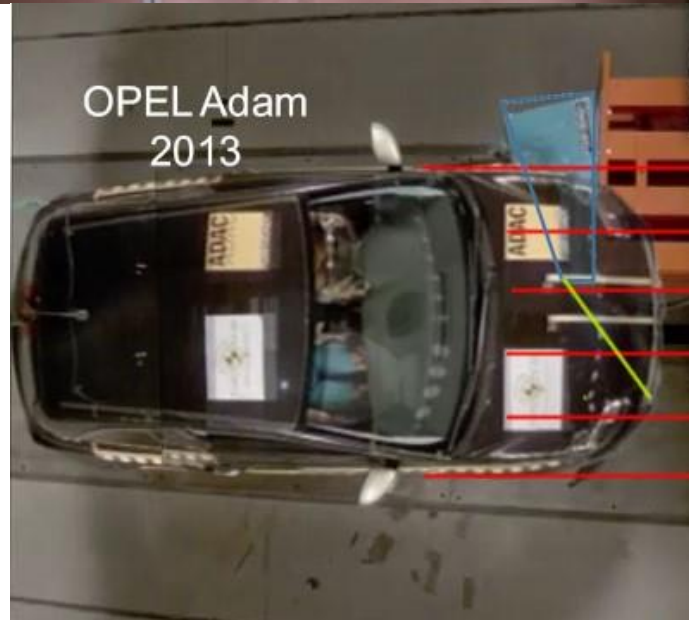
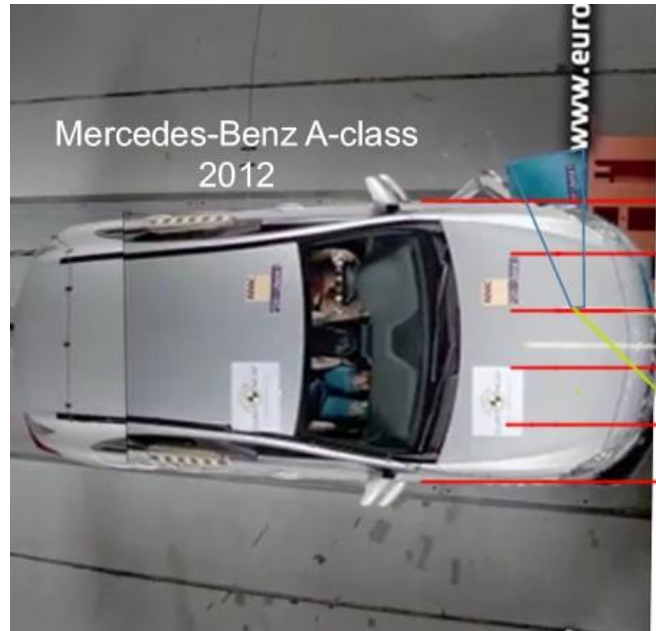


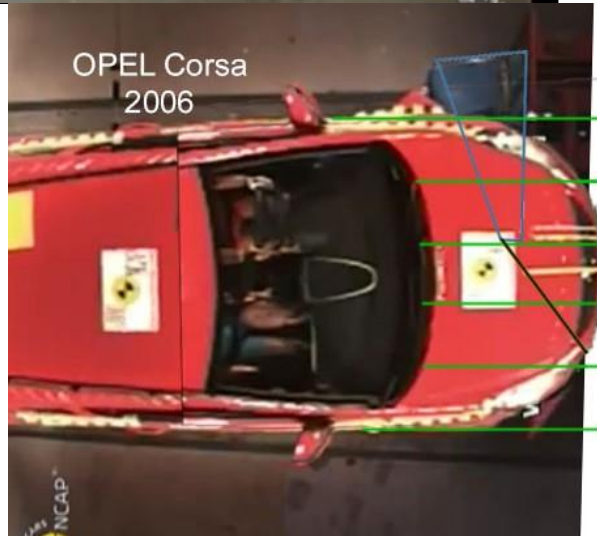
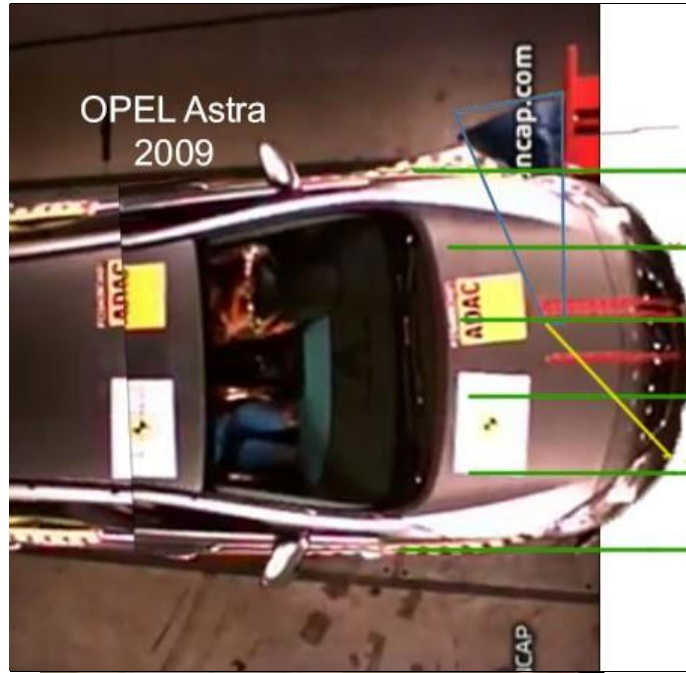


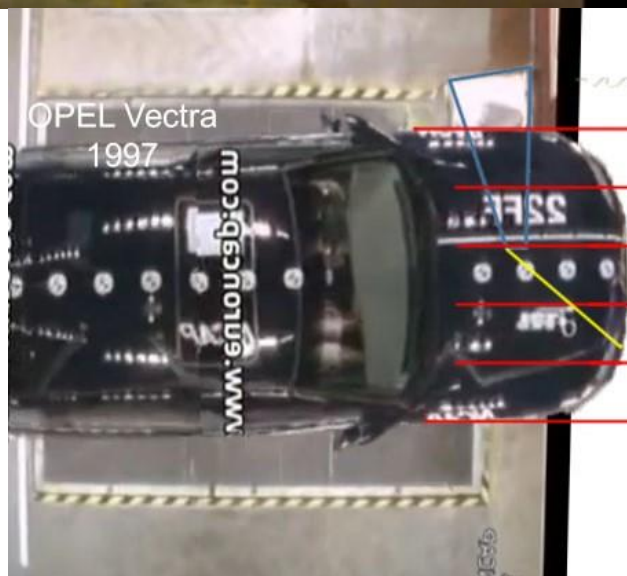
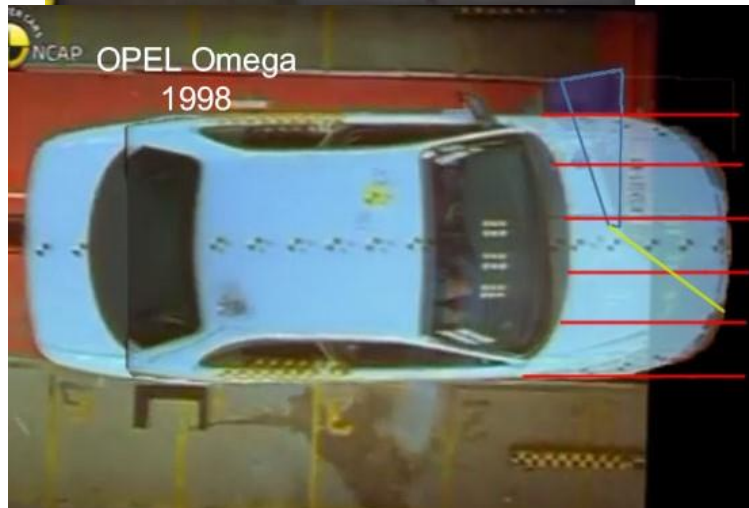
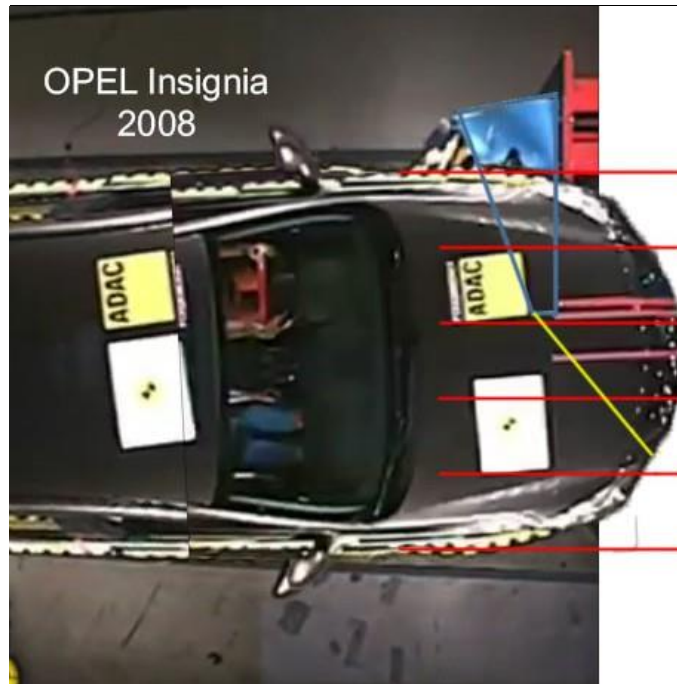


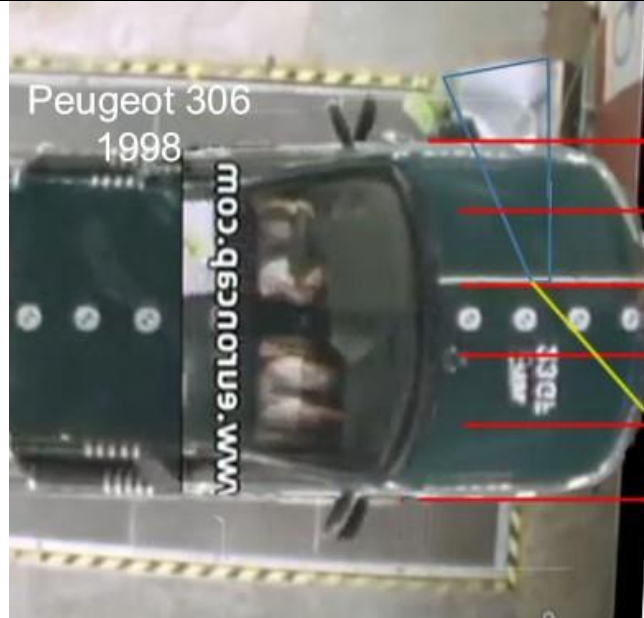
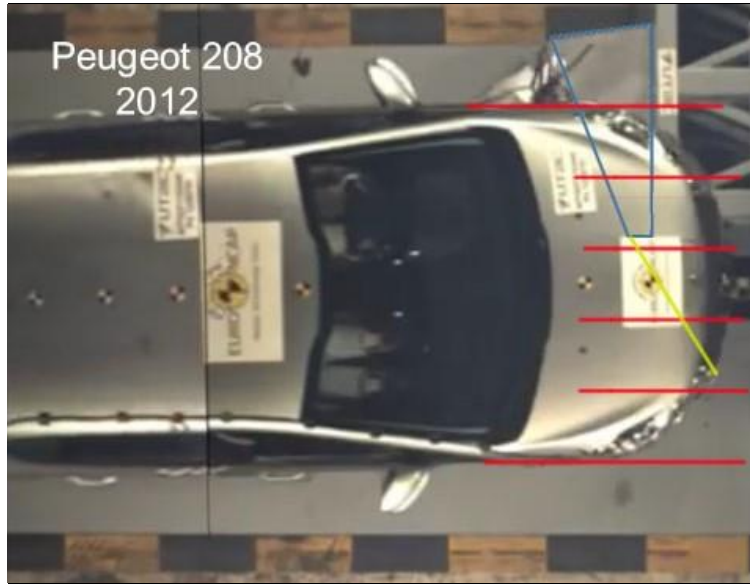


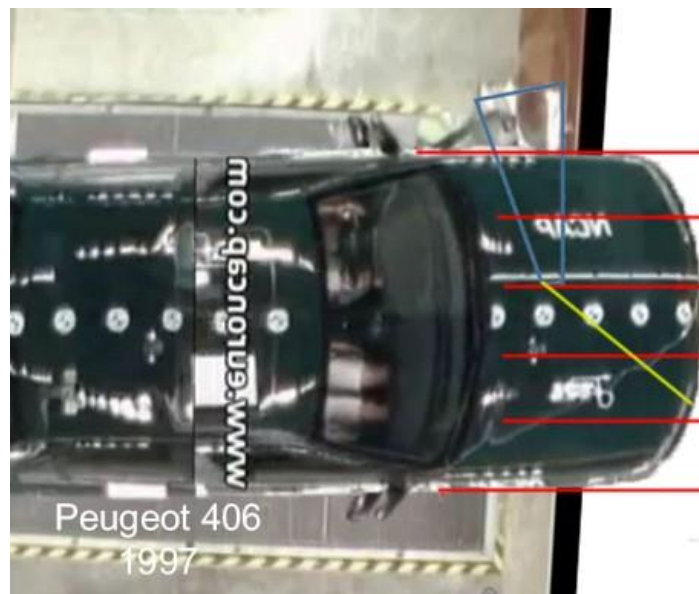
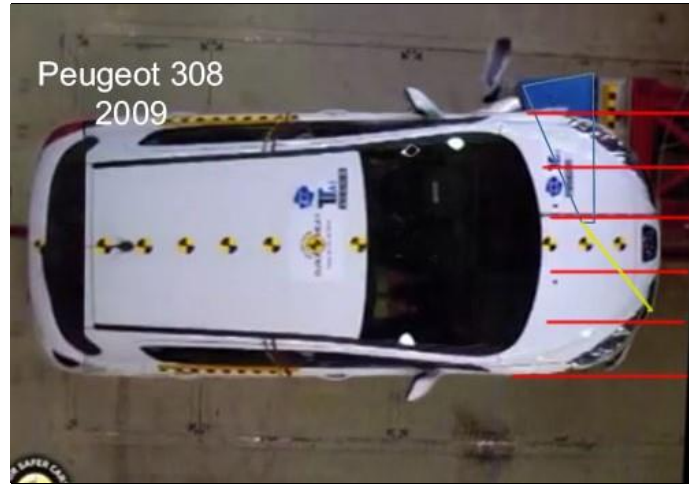






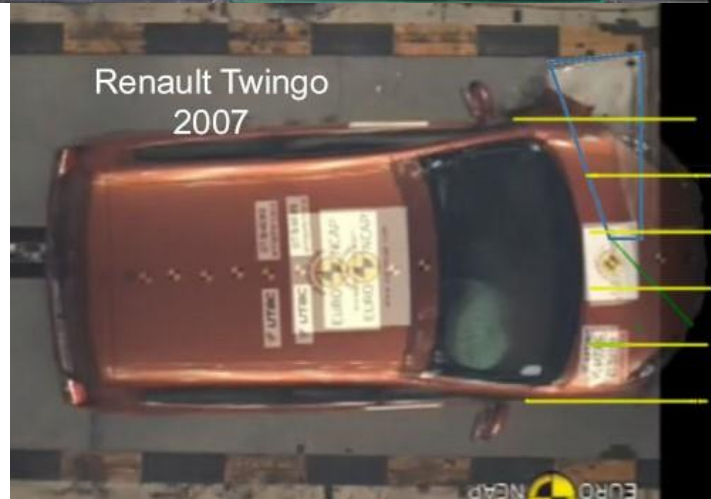
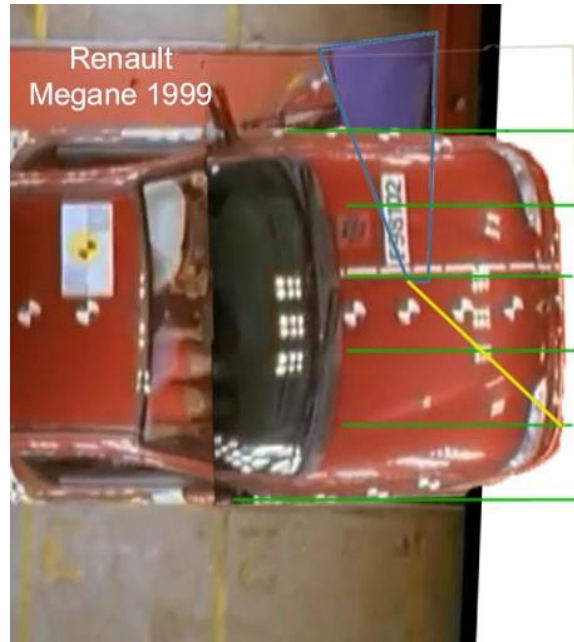








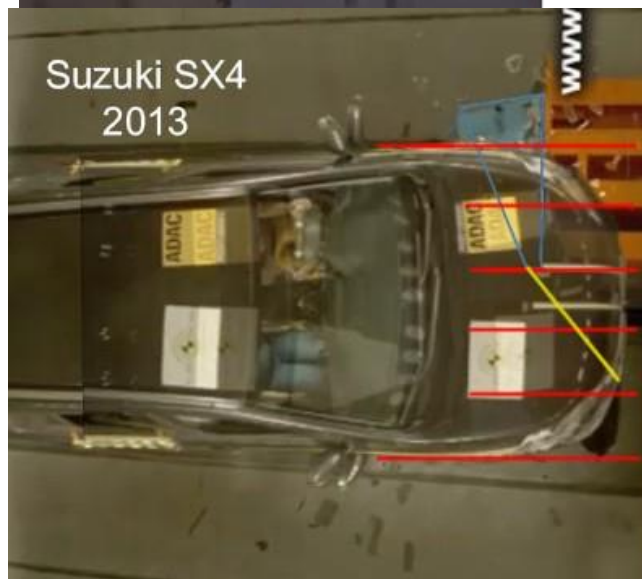
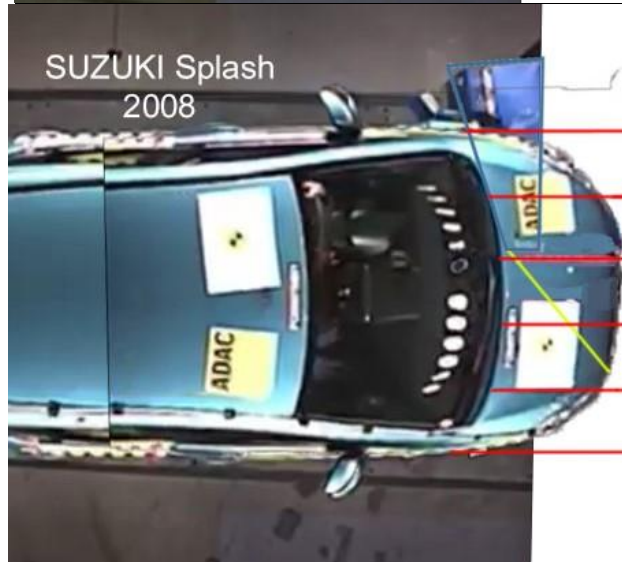
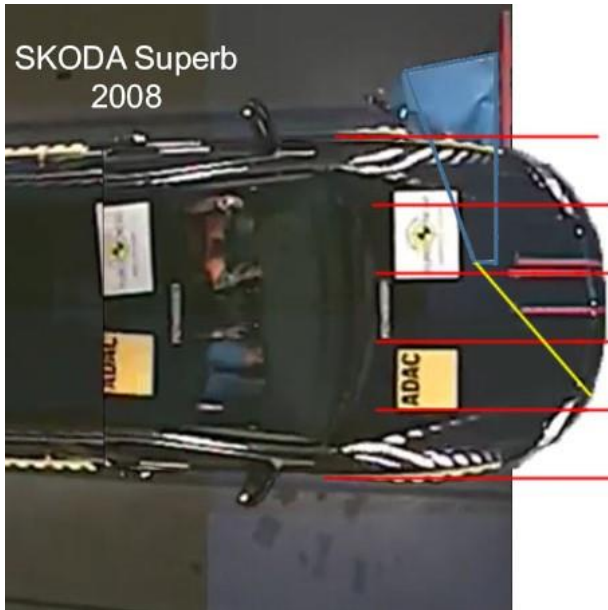


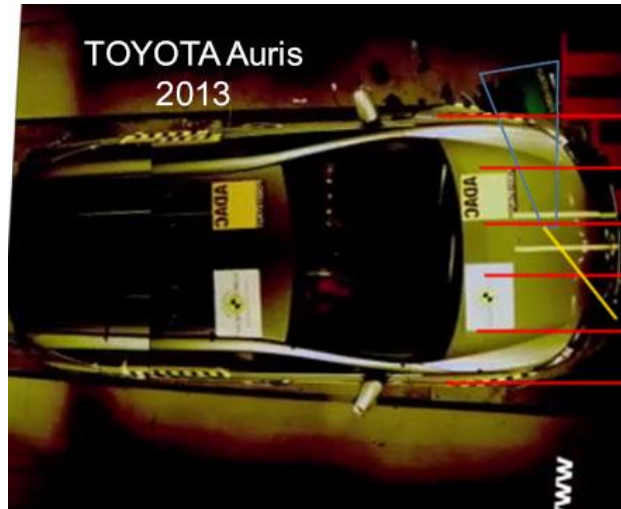


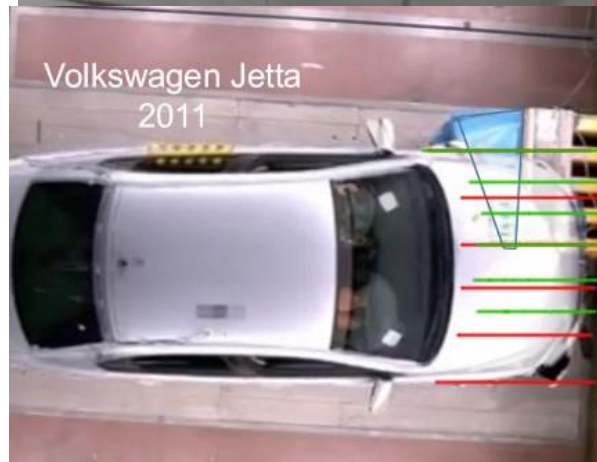


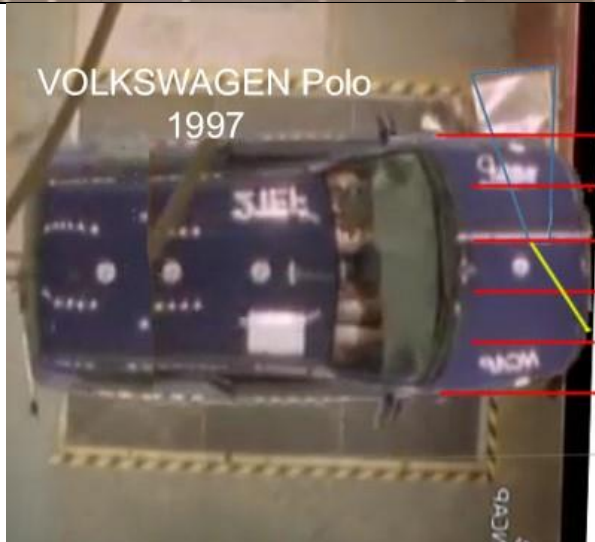
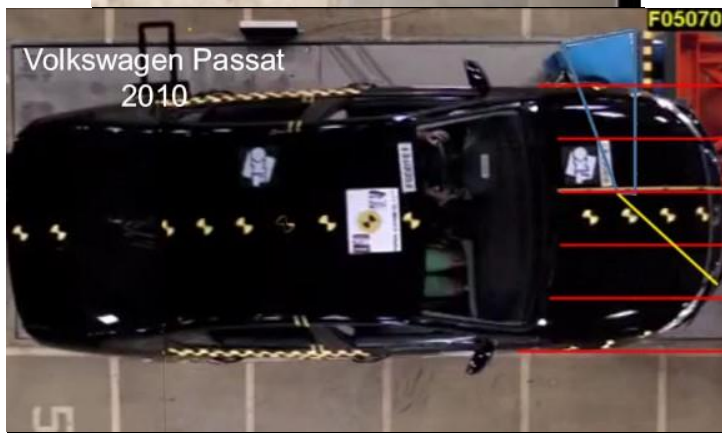
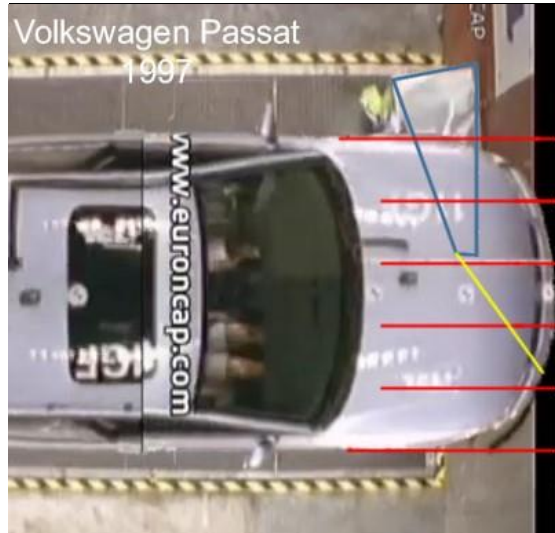




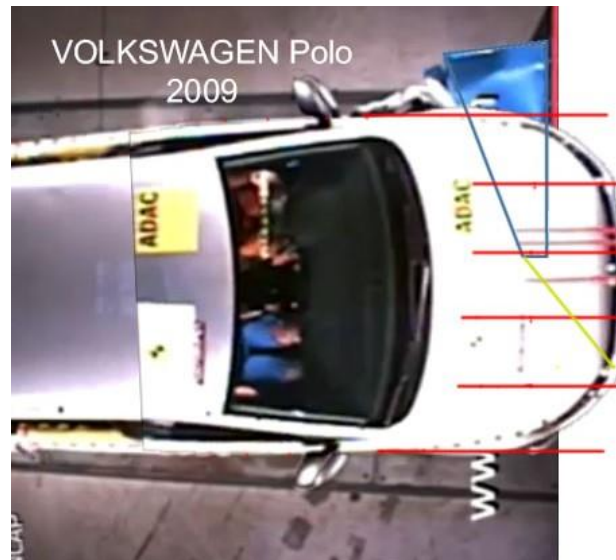














## **APÊNDICE 1**

# **Comparação entre os sistemas de classificação de veículos**

---



**Tabela AP1.0.1 - Comparação entre os sistemas de classificação [6] [7] [2] [41].**

Not Well Defined / Vernacular		Defined By Law or Regulation					
Market Segment (American English)	Market Segment (British English)	US EPA Type	US EPA Size Class	Euro NCAP Structural Category	Euro NCAP Class (1997-2009)	Euro Market Segment	
Microcar	Microcar, Bubble car	Car	-		Quadricycle	A-Segment mini cars B-segment small cars C-segment medium cars D-segment large cars E-segment executive cars F-segment luxury cars S-segment sports coupés	
Subcompact car	City car		Minicompact				Supermini
	Supermini		Subcompact				
Compact car	Small family car		Compact				Small family cars
Mid-size car	Large family car		Mid-size				
Entry-level luxury car	Compact executive car		-				Large family car
Full-size car	Executive car		-				Executive
Mid-size luxury car			-				
Full-size luxury car	Luxury car		-				-
Grand tourer	Grand tourer		-				-
Supercar	Supercar		-				-
Convertible	Convertible		-				-
Roadster	Roadster		Two-seater		Passenger car		Roadster sports
-	Mini MPV	Truck	Minivan Cargo van Small Sport Utility Vehicle	MPV	Small MPV Large MPV	M-segment multi purpose cars	
MPV	Compact MPV						
Minivan	Large MPV						
Cargo van	Van						
Passenger van	Minibus						
Mini SUV	Mini 4x4						
Compact SUV	Compact SUV						
Mid-size SUV	Large 4x4	Standard sport Utility	Off-roader		Small Off-Road 4x4 Large Off-Road 4x4	J-segment sport utility cars (including Off-road Vehivles)	
Full-size SUV							

		Vehicle			
Mini pickup Truck	Pick-up	Small Pickup Truck	Pickup	Pick-up	-
Mid-size pickup truck					-
Full-size pickup truck		Standard Pickup Truck			-
Heavy Duty pickup truck					-
Special purpose vehicle	-	Special purpose vehicle	-	-	-

## **APÊNDICE 2**

# **Dimensões das barreiras deformáveis e seus componentes**

---





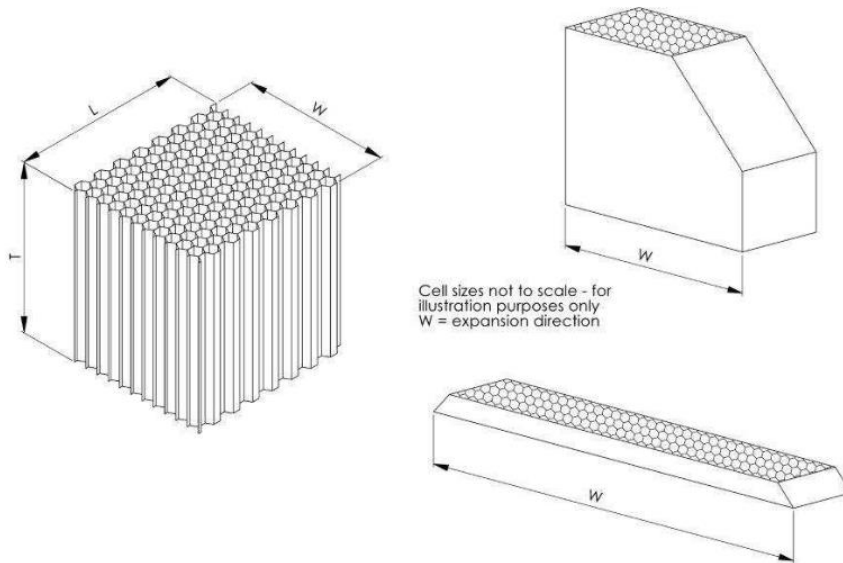
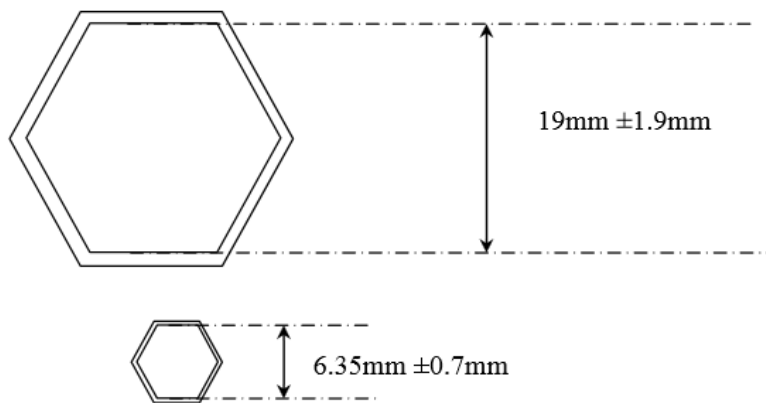


Figure 3: Aluminium honeycomb orientation

**Figura 0.1 - Aluminium honeycomb orientation - Mobilde Deformable Barrier (Euro NCAP) [42]**



**Figura 0.2 - Dimension of Aluminium Honeycomb Cells (Euro NCAP) [42].**

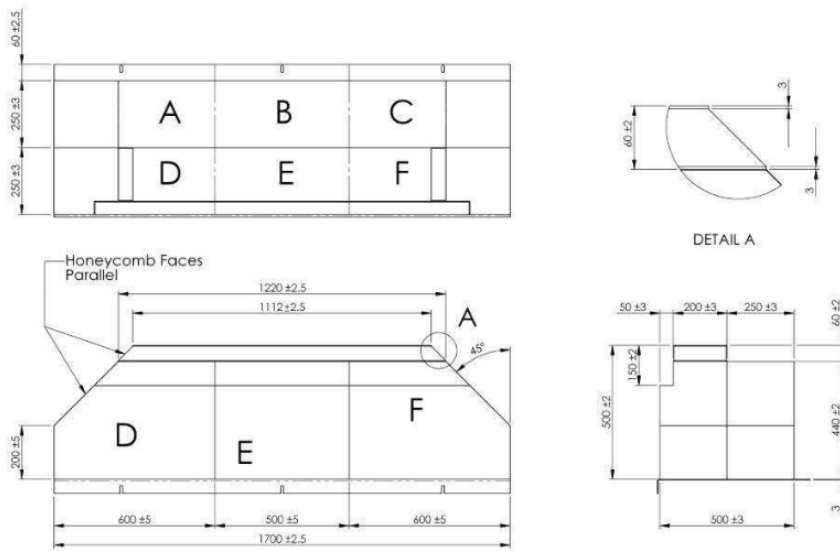
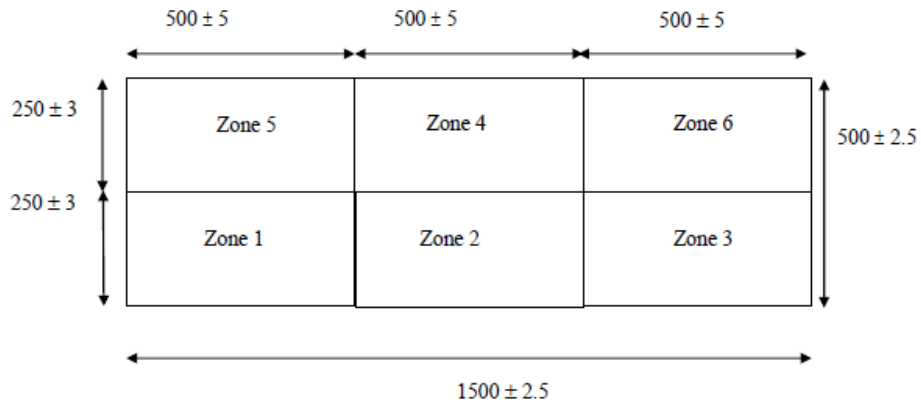
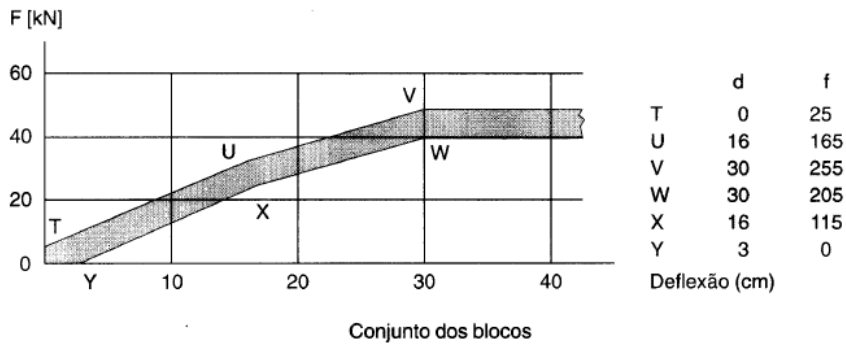


Figure 2: AE-MDB dimensions

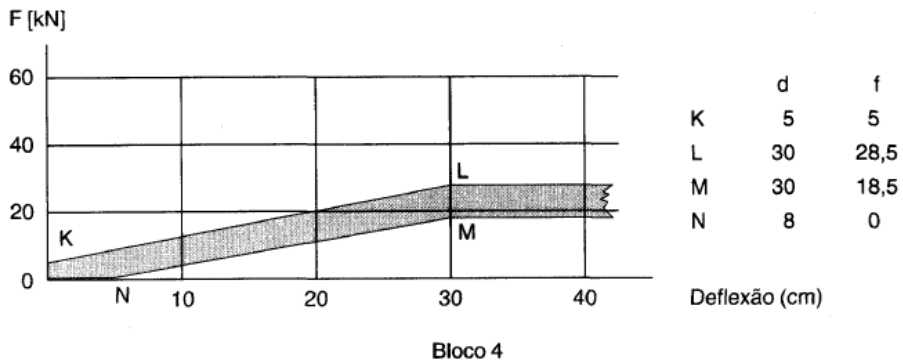
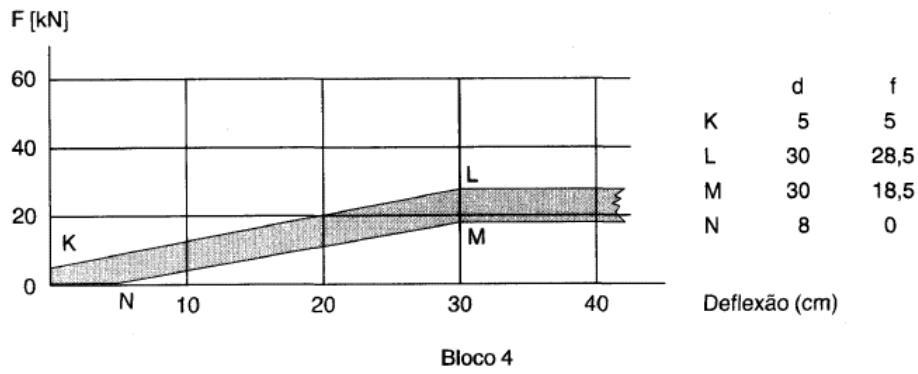
**Figura 0.3 - Impactor dimensions - mobile deformable barrier (Euro NCAP) [29].**

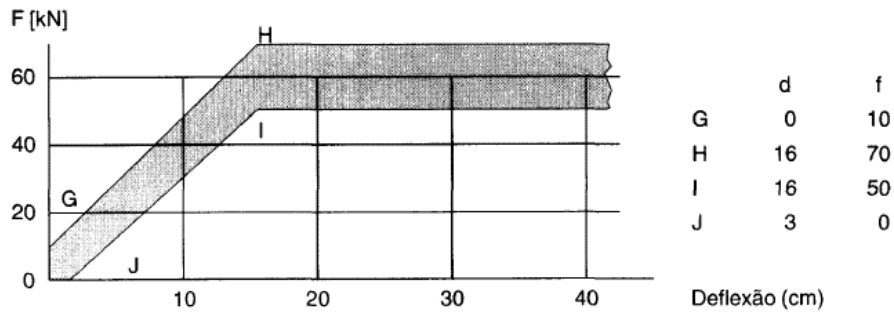


**Figura 0.4 – Bloco que formam o impactor (Euro NCAP) [29].**



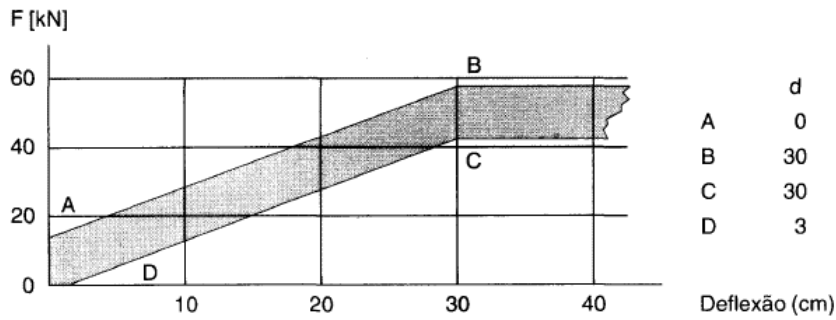
Nota: No ensaio de validação, para uma deformação dada, as forças medidas nos blocos 1 e 3, por um lado, e nos blocos 5 e 6, por outro, não devem diferir mais de 10%.





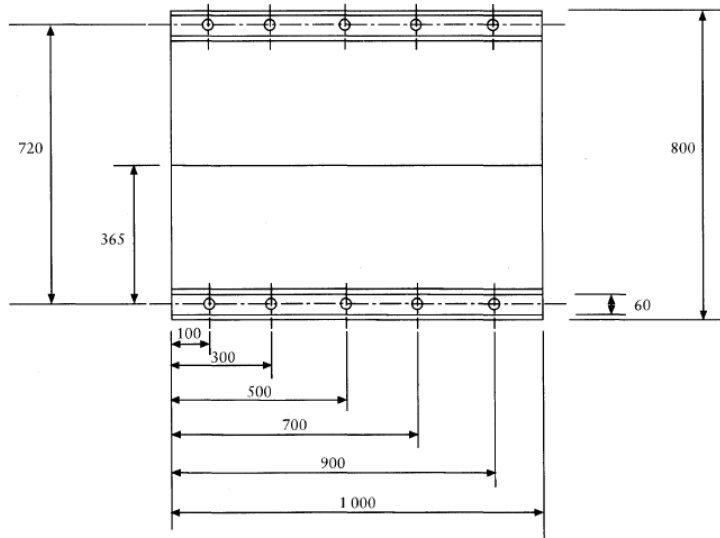
Bloco 2

Curvas força-deflexão



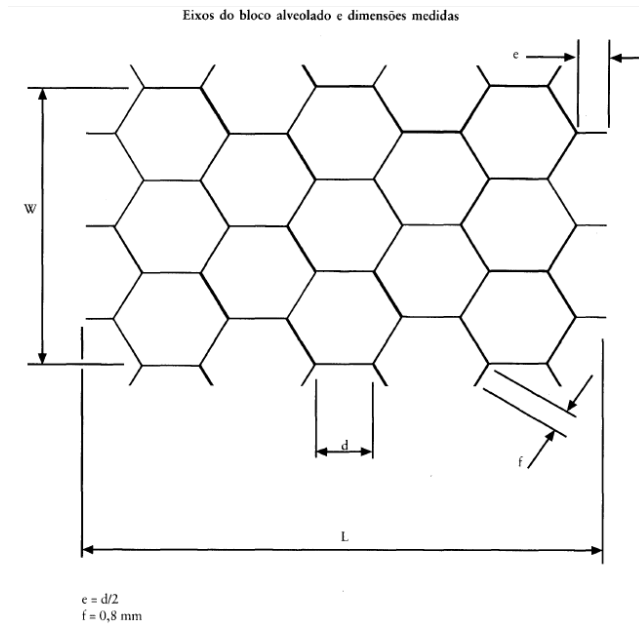
Blocos 1 e 3

Figura 0.5 - Curvas força-deflexão a que os blocos do impactor devem estar sujeitos (Euro NCAP) [26].

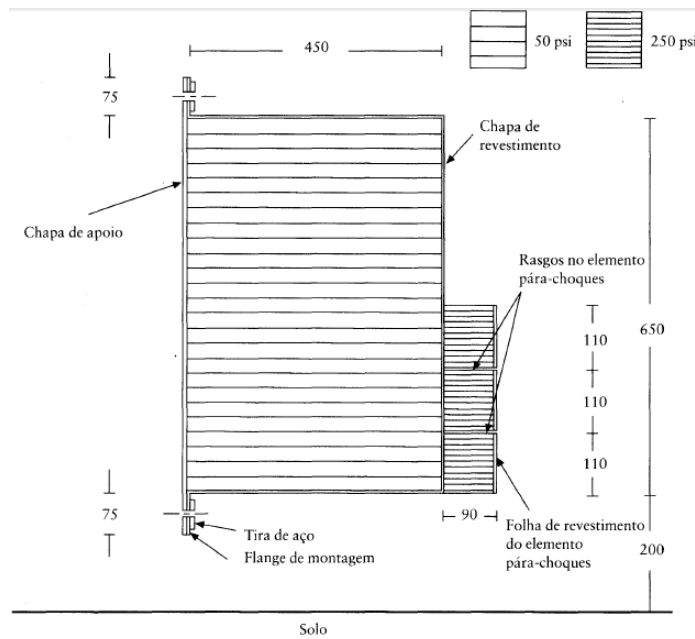


Diâmetros dos furos: 9,5 mm.  
Todas as dimensões em mm.

Figura 0.6 – Barreira deformável Euro NCAP - posição dos furos para a montagem e dimensões [25]



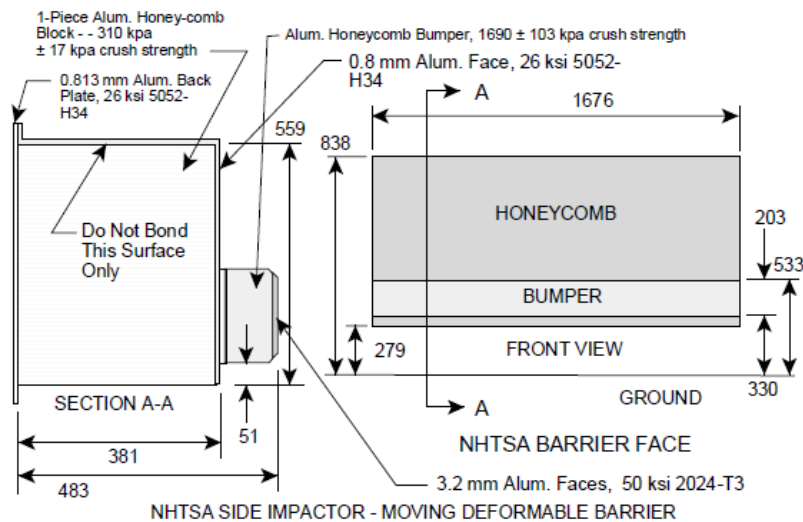
**Figura 0.7 - Barreira deformável Euro NCAP - Eixo alveolado e dimensões [25].**



Largura da barreira = 1 000 mm.

Todas as dimensões em mm.

**Figura 0.8 - Barreira deformável Euro NCAP - Dimensões (vista lateral) [25].**



### Características de deformação MDB

São admitidos desvios em relação às faixas de força-deformação que caracterizam a rigidez do impactor, definidas na figura 0.5 do presente apêndice, desde que, em simultâneo:

O desvio ocorra após o início da colisão e antes de a deformação do impactor ter atingido 150 mm;

O desvio não exceda 50% do valor instantâneo mais próximo fixado pela faixa;

O deslocamento correspondente a cada desvio não exceda 35 mm da deformação e a soma dos deslocamentos não exceda 70 mm;

O somatório da energia resultante do desvio para fora da faixa não exceda 5% da energia bruta associada ao bloco correspondente.

Os blocos 1 e 3 devem ser idênticos e a sua rigidez deve ser tal que as curvas força-deformação correspondentes se inscrevam na zona sombreada na figura 0.5.

Os blocos 5 e 6 devem ser idênticos e a sua rigidez deve ser tal que as curvas força-deformação correspondentes se inscrevam na zona sombreada na figura 0.5.

A rigidez do bloco 2 deve ser tal que a sua curva força-deformação se inscreva na zona sombreada do gráfico 2b da figura 0.5.

A rigidez do bloco 4 deve ser tal que a curva força-deformação correspondente se inscreva na zona sombreada na figura 0.5.

A curva força-deformação do impactor no seu conjunto deve inscrever-se na zona sombreada da figura 0.5

As curvas força-deformação devem ser sujeitas a verificação através do ensaio descrito na adenda ao presente apêndice, que se baseia na colisão do conjunto impactor contra uma barreira dinamométrica, à velocidade de  $35 \pm 2$  km/h .

A energia dissipada ( 1 ) durante a colisão em cada um dos blocos 1 e 3 deve ser de  $10 \pm 2$  kJ .

A energia dissipada em cada um dos blocos 5 e 6 deve ser de  $3,5 \pm 1$  kJ.

A energia dissipada no bloco 4 deve ser de  $4 \pm 1$  kJ .

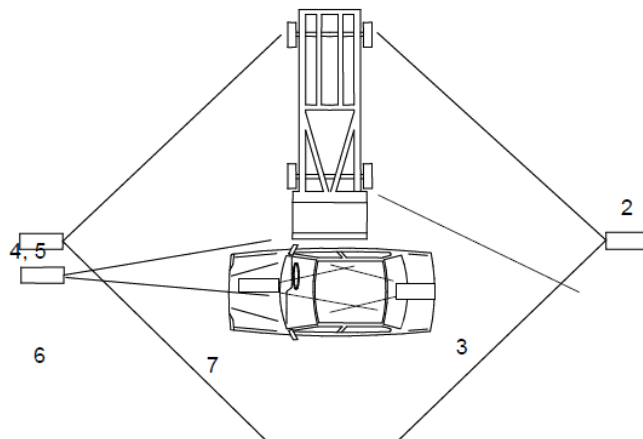
A energia dissipada no bloco 2 deve ser de  $14 \pm 2$  kJ .

A energia total dissipada durante a colisão deve ser de  $45 \pm 5$  kJ .

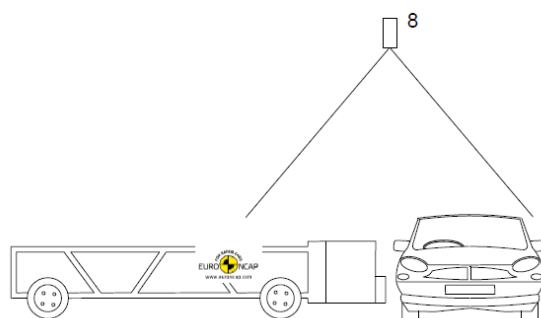
A deformação do impactor deve ser de  $350 \pm 20$  mm.

### Posição das Câmaras MDB

Nos ensaios de colisão lateral, as câmaras de vídeo de alta-velocidade são instaladas segundo próximos diagramas.



**Figura 0.9 - Posição das câmaras no crash test lateral Euro NCAP (vista cima).**



**Figura 0.10 - Posição das câmaras no crash test lateral Euro NCAP (vista lateral).**

Câmara N°.	Direção do disparo
1	Front view of vehicle and trolley (wide)
2	Rear view of vehicle and trolley (wide)
3	Child head containment, onboard
4	Front view of vehicle and trolley (wide)
5	Backup for 4 (optional)
6	Front view of driver and impact point (tight)
7	Child head containment, onboard
8	Plan view of car and trolley (tight)

De modo a não ocorrer distorções na qualidade de imagem, as lentes das câmaras são de um mínimo de 9mm.

O encosto de cabeça deve ser retirado se possível de modo a não interferir com o ângulo de captura da imagem na câmara 7.



## **APÊNDICE 3**

### **Coeficientes de rigidez (última versão conhecida)**

---



**Tabela AP3.0.1 - Coeficientes de rigidez retirados do Aidamage3 para veículos de passageiros [43].**

Value/Class	1	2	3	4	5	Barrier
Mass (kg)	945	1119	1332	1669	1756	$10^7$
Wheelbase (cm)	205-241	241-258	258-280	280-298	Mais de 298	100
Length (cm)	403	443	484	522	551	100
Width (cm)	165	172	177	188	189	100
Track (cm)	140	144	149	152	152	100
Overhang (cm)	83	88	105	102	105	0
CoG to front (cm)	180	180	206	222	230	50
Yaw inertia	1524,19	1949,75	2708,59	3308,73	3310,29	$10^7$
Gyration radius (cm)	127	132	142,6	140,8	137,3	1000
Front A (N/m <sup>2</sup> ) B (N/m <sup>2</sup> )	316 49,7	324 45,1	362 48,3	377 46,0	506 78,2	
Rear A (N/m <sup>2</sup> ) B (N/m <sup>2</sup> )	302 37,5	284 34,1	332 35,7	326 32,4	512 95,2	
Side A (N/m <sup>2</sup> ) B (N/m <sup>2</sup> )	155 41,2	175 45,7	170 53,6	240 65,5	240 65,5	

**Tabela AP3.0.2 - Coeficientes de rigidez retirados do Aidamage3 para os restantes veículos não-incluídos na Tabela AP3.0.1[41].**

Value/Class	Van		Multi-purpose		Pickup		Truck
	1	2	1	2	1	2	
Mass (kg)	1520	2286	1587	2196	1283	2008	7883
Wheelbase (cm)	<293	>293	<265	>265	<290	>290	ALL
Length (cm)	454	479	400	487	454	484	582
Width (cm)	182	203	168	189	165	197	244
Track (cm)	154	175	145	148	139	165	202
Overhang (cm)	89,1	69,6	72,2	70,1	74,4	60,2	74,7
CoG to front (cm)	203	221	193	210	195	223	251
Yaw inertia (kg/m <sup>2</sup> )	2987,72	5764,71	2483,66	4629,84	2293,45	4867,89	12042,8
Gyration radius (cm)	140,2	158,8	125,1	145,2	133,7	155,7	123,6
Front A (N/m <sup>2</sup> ) B (N/m <sup>2</sup> )	541 93,1	628 106,7	466 75,1	385 47,2	466 75,1	385 47,2	1751 689,7
Rear A (N/m <sup>2</sup> ) B (N/m <sup>2</sup> )	492 81,7	547 97,8	453 75,1	509 84,8	453 75,1	509 84,8	1751 689,7
Side A (N/m <sup>2</sup> ) B (N/m <sup>2</sup> )	168 53,8	240 65,5	180 63,5	137 27,6	180 63,5	137 27,6	1751 689,7