



CÁLCULO DAS VELOCIDADES DE VEÍCULOS ENVOLVIDOS EM COLISÕES POR MEIO DE ANÁLISE DAS DEFORMAÇÕES MECÂNICAS DE PEÇAS ESTRUTURAIS

Valério Urbano da Silva Neto and Melquizedec Arcos Rodrigues
Escola Superior de Tecnologia - EST. Universidade Estadual do Amazonas - UEA. Manaus, Amazonas, Brasil,



RESUMO

Este trabalho consiste descrever um método de cálculo de velocidade de veículos envolvidos em acidentes de trânsito por meio da análise de deformações mecânicas em peças diversas desses veículos. O método não é inédito no mundo mas no Brasil os estudos estão em fase embrionária, sendo aplicado alguns métodos como o da conservação de energia total e o da conservação da quantidade de movimento, mas em ambos as deformações das peças não são levadas em consideração, embora considerável parte da energia ou da quantidade de movimento sejam utilizadas para se causar a deformação em si. Alguns autores descrevem em seus trabalhos científicos cada um desses métodos para se calcular velocidade, mas não levam em consideração, por exemplo, o momento de inércia de cada um dos veículos, quando consideram o fazem como estimativa a ser acrescentada no cálculo das velocidades de cada um dos veículos as avarias observadas nos veículos, mas deixa de levar em conta as deformações mecânicas ocorridas nas estruturas dos mesmos. O objetivo desse é a análise de deformações em peças estruturais de veículos automotores envolvidos em acidentes de trânsito e uma possível maneira de se determinar ou estimar a velocidade de tráfego de cada um dos veículos antes da colisão. Esse estudo vem aplicar o conhecimento sobre deformações mecânicas na prática de cálculo de velocidades de colisão em acidentes de trânsito, no campo da engenharia forense, e com isso, procurar apontar, em muitos caso, o verdadeiro causador da infração de excesso de velocidade, ou um cálculo mais aproximado do verdadeiro valor de velocidades dos veículos envolvidos numa colisão.

Palavras-chave: *Tensão e deformação mecânicas. Cálculo de velocidades. Colisões veiculares. Crash Tests.*

ABSTRACT

This study consists in the describing a method of calculating the speed of vehicles involved in traffic accidents through the analysis of mechanical deformations in various parts of these vehicles. The method is not unique in the world but in Brazil the studies are in the embryonic stage, being applied some methods like the conservation of total energy and the conservation of the amount of movement, but in both the deformations of the pieces are not taken into account, although considerable part of the energy or amount of movement is used to cause the deformation itself. Some authors describe in their scientific work each of these methods to calculate speed, but do not take into account, for example, the moment of inertia of each of the vehicles, when they consider it as an estimate to be added in the calculation of the speeds of each one of the vehicles the faults observed in vehicles, but fails to take into account the mechanical deformations occurring in the structures thereof. The purpose of this is the analysis of deformations in structural parts of motor vehicles involved in traffic accidents and a possible way to determine or estimate the traffic speed of each of the vehicles before the collision. This study applies the knowledge about mechanical deformations in

the practice of calculation of collision velocities in traffic accidents in the field of forensic engineering, and with this, seek to point out, in many cases, the true cause of the violation of speeding, or a closer estimate of the true speed value of vehicles involved in a collision.

KEY-WORDS: *Mechanical stress and strain. Calculation of speeds. Vehicle collisions. Crash Tests..*

1. INTRODUÇÃO

Este projeto de iniciação científica visa conduzir o bolsista à evolução acadêmica, ou seja, expandir seus conhecimentos na área de engenharia mecânica, no que tange a aplicações do conhecimento sobre deformações de peças veiculares e a energia responsável para causar essas deformações. Sabe-se que a evolução dos conhecimentos de mecânica dos sólidos tem proporcionado aplicações cada vez melhores, sendo uma das áreas muito estudadas a de deformações dos materiais, levando tais conhecimentos a serem utilizados no campo das perícias criminalísticas, especificamente na determinação de velocidades de veículos envolvidos em acidentes de trânsito.

De acordo com relatório publicado em novembro de 2015 pela Organização Mundial da Saúde (OMS), apenas em 2013, mais de 41 mil pessoas perderam a vida nas estradas e ruas brasileiras. Desde 2009, o número de acidentes de trânsito no país deu um salto de 19 por 100 mil habitantes para 23,4 por 100 mil habitantes, o maior registro na América do Sul.

Em 2014 o número de mortos alcançou o recorde de 52.226, somente os que foram indenizados pelo seguro DPVAT (Fonte: http://www.vias-seguras.com/os_acidentes/estatisticas/estatisticas_nacionais/estatisticas_do_seguro_dpvat).

Entre os dez países mais populosos do mundo, no entanto, o Brasil aparece como destaque no relatório, cumprindo quatro dos cinco principais fatores de risco no trânsito, que são: uso de cinto de segurança, capacete, limite de velocidade, segurança para crianças e proibição de ingestão de bebida alcoólica antes de dirigir. Na lista dos dez mais populosos, também se encontram Estados como China, EUA e Índia. Esses Estados somam 4,2 milhões de pessoas e 56% das mortes por acidentes de trânsito. (Fonte: <https://nacoesunidas.org/oms-brasil-e-o-pais-com-maior-numero-de-mortes-de-transito-por-habitante-da-america-do-sul/>; consultada em março de 2017).

No Brasil no ano de 2014 os números de pessoas feridas em acidentes de trânsito alcançou o número de 596.000. (Fonte: http://www.vias-seguras.com/os_acidentes/estatisticas/estatisticas_nacionais; e; http://www.vias-seguras.com/os_acidentes/estatisticas/estatisticas_nacionais/estatisticas_do_seguro_dpvat).

No estado do Amazonas, segundo informações do DENATRAN, o número de mortos em 2014 e 2015, respectivamente, chegaram às seguintes quantidades: 457 e 418 pessoas. Fonte: http://www.vias-seguras.com/os_acidentes/estatisticas/estatisticas_estaduais/estatisticas_de_acidentes_em_amazonas). Acidentes de trânsito são uma das principais causas de morte no mundo, vitimando 1,25 milhão de pessoas por ano, acumulando óbitos principalmente em países pobres. Segundo a OMS, os países de baixa ou média renda acumulam 90% das mortes no trânsito, enquanto somam 54% dos veículos no mundo. A Europa tem as menores taxas per capita, e a África, as maiores.

Apesar do alto número de acidentes, o estudo afirma que o número de mortes no trânsito está estabilizando, mesmo com o rápido aumento de veículos no mundo. Só no Brasil, segundo dados de 2013, há mais de 81 milhões de veículos registrados. O documento mostra que 79 países tiveram redução de fatalidades no trânsito, enquanto 68 aumentaram. De acordo com a OMS, os países com maior sucesso na redução de mortes na estrada desenvolveram sua legislação, a aplicação das leis e melhorando a segurança das estradas e carros. (Fonte: <https://nacoesunidas.org/oms-brasil-e-o-pais-com-maior-numero-de-mortes-de-transito-por-habitante-da-america-do-sul/>; consultada em março de 2017).

Na maioria dos acidentes de trânsito traz outra consequência que são as avarias nos veículos envolvidos. Essas deformações podem ser um campo a ser pesquisado, especificamente relacionando, em

algumas situações, o conhecimento das deformações causados nos impactos entre dois veículos e por meio dessas deformações encontrar uma relação com o valor da velocidade que trafegava cada um dos veículos antes da colisão. Segundo registros do Denatran de dezembro de 2015, só no estado do Amazonas o total de veículos automotores envolvidos em acidentes de trânsito naquele ano foi de 779.914 veículos.

Portanto é de extrema importância que seja realizado tal estudo, a análise de deformações em veículos automotores envolvidos em acidentes de trânsito e uma possível maneira de se determinar ou estimar a velocidade de tráfego de cada um dos veículos momentos antes da colisão

2. TENSÃO

Dizemos que é a intensidade da força interna que age em um ponto específico (área) selecionado de um corpo. São dois os tipos de tensão: tensão normal e tensão de cisalhamento. São classificadas basicamente em dois tipos:

Tensão Normal;

Tensão de Cisalhamento;

2.1. Tensão Normal

A intensidade de força ou força por unidade de área, que atua perpendicularmente a ΔA , é definida como **tensão normal**, σ (sigma). Portanto pode-se escrever que:

$$\sigma = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta F}{\Delta A}$$

Se a força normal ou tensão tracionar o elemento de área ΔA , como mostra a figura 1, ela será denominada *tensão normal de tração*, e se comprimir o elemento ΔA , ela será denominada *tensão normal de compressão* como mostrado na figura 2.

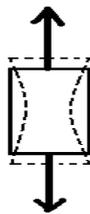


Figura 1

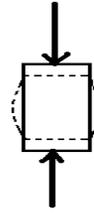


Figura 2

2.2. Tensão de Cisalhamento

A intensidade de força, ou força por unidade de área, que atua tangente a ΔA , é denominada **tensão normal de cisalhamento**, τ (tau), como mostrado na figura 3. Pode-se escrever que:

$$\tau = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta F}{\Delta A}$$

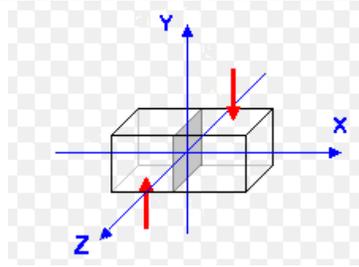


Figura 3

3. Deformação

Quando uma força é aplicada a um corpo, ele tende a mudar sua forma e tamanho. Essas mudanças são denominadas **deformação** e podem ser perfeitamente visíveis ou praticamente imperceptíveis.

3.1 Tipos

Existem dois tipos:

- Deformação Normal
- Deformação por Cisalhamento

3.1.1. Deformação Normal

É o alongamento ou a contração de um segmento de reta por unidade de comprimento. Calculada pela equação:

$$\varepsilon = \frac{\Delta s' - \Delta s}{\Delta s}$$

onde Δs é o comprimento inicial do objeto e $\Delta s'$ o final.

3.1.2. Deformação por Cisalhamento

É a mudança de ângulo ocorrida entre dois segmentos de reta originalmente perpendiculares entre si. Calculada por:

$$\gamma = \frac{\pi}{2} - \lim \theta'$$

onde θ' é o ângulo final.

4. Teste de impacto (Crash tests)

O teste de impacto (**crash test**) consiste no impacto de veículos automotores contra barreiras indeformáveis (blocos de concreto ou ferro) ou deformáveis (bloco deformável metálico). Tem por objetivo avaliar a segurança automotiva para verificar se cumprem determinadas normas de segurança de proteção à colisão em situações de acidente de trânsito.

4.1. Marcas

- Honda
- Fiat
- Volkswagen
- Ford

4.1.1. Honda Fit + 2 Airbag (2015)

Este modelo recebeu cinco estrelas para adultos e quarto para crianças. “A estrutura do veículo mostrou um desempenho estável, bem como elementos avançados que permitiram oferecer bons níveis de segurança”, afirma o Latin NCAP.

4.1.2. Fiat Mobi + 2 Airbag (2017)

Mobi foi mal no teste de segurança e conquistou apenas uma estrela. “A estrutura do carro se mostrou inapropriada para suportar impacto lateral”, segundo a Latin NCAP; proteção a crianças chegou a duas estrelas.

4.1.3. Volkswagen Golf VII + 7 Airbags (2017)

Entrou para a lista de carros fabricados no Brasil que oferecem segurança máxima a todos os passageiros e é o primeiro carro vendido por aqui a conquistar o selo Advanced Awards, que reconhece modelos com tecnologias de prevenção de acidentes. O modelo conquistou cinco estrelas na proteção a adultos e outros cinco na segurança de crianças, segundo a Latin NPAC.

4.1.14. Ford Ka + 2 Airbag (2015)

O modelo recebeu 4 estrelas para adultos e apenas 3 para crianças. “A estrutura foi classificada como estável, sendo capaz de suportar cargas pesadas”, afirma Latin NPAC.

5. ESTUDO EXPERIMENTAL

5.1. Perícia a fim de determinar a velocidade em acidentes de trânsito

A determinação da velocidade é imprescindível na análise dos acidentes de tráfego. A possibilidade de fazê-la está diretamente condicionada à existência de elementos materiais, tais como: marcas de frenagem, de derrapagem, danos materiais e espaço residual.

No estudo para avaliação da velocidade, os peritos valer-se-ão de todos os elementos produzidos no evento. O desaparecimento de qualquer um deles impossibilitará definitivamente a reflexão precisa da realidade.

Esta observação refere-se aos locais não preservados, e mesmo nos casos em que os veículos são retirados das posições originais decorrentes da colisão.

5.2. Principais vestígios

Os vestígios encontrados no local devem ser descritos de forma detalhada (com suas características relevantes) e também fotografados pelo Perito. Serão apresentadas as principais características desses vestígios, bem como a forma mais utilizada para o seu registro.

5.2.1. Marcas pneumáticas

Estão entre os vestígios mais importantes no local, servindo para a determinação da velocidade e do ponto da colisão. No registro descritivo das marcas pneumáticas deve constar: **extensão em metros, localização e referência de pontos de início e término** e características particulares como **distorções, interrupções, etc..** Podem ser classificadas em:

- **Frenagem**

São marcas produzidas por atrito do pneu contra a superfície. Ao ser freado em pavimento de asfalto ou concreto, o veículo produz marcas em geral contínuas e de cor escura, em tons variados de cinza. O sistema ABS é um dispositivo utilizado hoje nos freios de alguns automóveis que também produzem marcas, porém mais tênues e geralmente seccionadas e, às vezes, em forma de marcas de fricção no pavimento.

- **Derrapagem**

São produzidas pelos pneus sem o travamento total, ou seja, continuam em movimento rotativo em curvas ou em movimento curvilíneo, com deslocamento divergente da orientação indicada pelo eixo longitudinal do veículo. As marcas de derrapagem podem ser também coletadas utilizando-se o raio de curvatura.

De acordo com o sentido das hachuras, poderemos também determinar se essas marcas foram produzidas em aceleração, em desaceleração, ou ainda neutras, conforme ilustram as figuras abaixo.

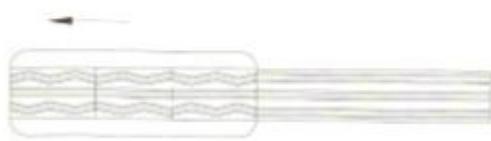


Figura 1: Frenagem ou aceleração



Figura 2: Derrapagem em aceleração

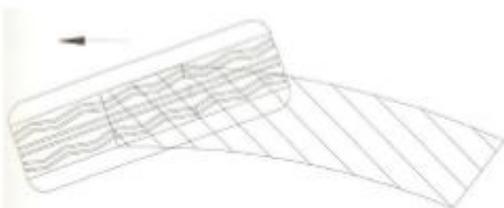


Figura 3: Derrapagem em Desaceleração

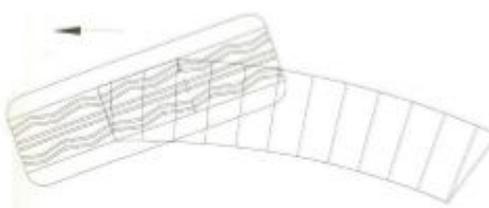


Figura 4: Derrapagem Neutra ou Livre

FONTE: Apostila do Curso de Formação – PERITO CRIMINAL – 2008

- **Marcas de Aceleração**

São marcas muito semelhantes às marcas de frenagem, entretanto, com características diferentes em suas regiões iniciais. Pela aplicação de grande quantidade de torque nas rodas motrizes, em geral são observadas distorções no começo e clareamento progressivo, ou seja, são mais escuras no início.

5.2.2. Marcas de fricção

Aparecem quando partes da estrutura de um veículo deslizam contra a superfície, sem retirada de material da superfície. Em geral apresentam-se acompanhadas de aderência de material do revestimento da superfície (pintura ou borracha) ou de marcas de sulcagem.

5.2.3. Posição de repouso final

As posições finais que os veículos assumem após um acidente, são denominadas posições de repouso, sendo elas também importantes para o estabelecimento da dinâmica do acidente e a determinação das velocidades com que os veículos trafegavam.

5.2.4. Avarias

As avarias observadas nos veículos envolvidos em acidentes são o resultado das deformações produzidas pelo contato de suas estruturas. A descrição de avarias envolve primeiramente a determinação da **sede de impacto**.

A sede de impacto representa na verdade o ponto (ou região) inicial do impacto na estrutura do veículo.

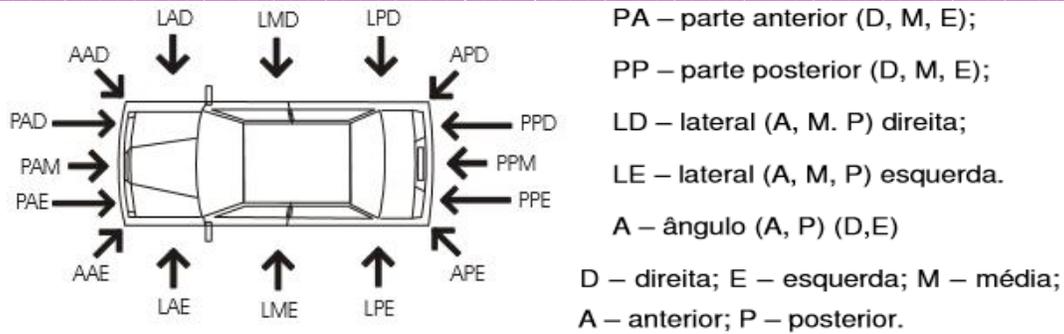


Figura 5- Sedes de impactos

Tipos principais de avarias: amassamento, quebramento, ruptura, empenamento, deformação, etc. Tratamos como **amassamentos** as avarias ocorridas em partes metálicas dúcteis, sujeitas à deformação permanente sem processo de ruptura, como as peças de lataria. Os **quebramentos** ocorrem nas peças sujeitas à fratura frágil, ou seja, sem deformação plástica como as peças metálicas de ferro fundido ou as peças de plástico rígido. Os termos **ruptura** e **deformação** são mais utilizados para o caso de peças não metálicas, como pneumáticos e capas de para-choque.

5.3. Métodos para o cálculo da velocidade

5.3.1. Conservação de energia

Na física, a lei ou princípio da conservação de energia estabelece que a quantidade total de energia em um sistema isolado permanece constante, ou seja, a energia total antes é igual à energia total após um determinado processo.

Para a análise da velocidade desenvolvida por um veículo, será considerado como ponto de referência o início das marcas de frenagem, que correspondem à materialização do início do processo de desaceleração. Assim, a energia disponível antes do início do processo de redução de velocidade se transforma em parcelas distintas. Como regra geral, uma parte dessa energia é dissipada na forma de arrastamento (produção de marcas de frenagem), outra em forma de danos (avarias experimentadas e/ou produzidas) e uma terceira, em movimentações residuais. Assim, pode-se representar

$$E_{antes} = E_{depois} \quad (1)$$

A parcela **antes** consiste basicamente da energia devida à velocidade inicial, enquanto a parcela **após** pode ser representada pelas parcelas equivalentes da energia transformada, ou seja:

$$E_{antes} = E_{arrastamento} + E_{danos} + E_{residual} \quad (2)$$

Considerando cada um dos termos acima como equivalentes de energia cinética de um corpo de massa m e velocidade v , pode-se representar:

$$E_c = \frac{1}{2}mv^2 \quad (3)$$

Pode-se então escrever, para um determinado objeto (veículo):

$$\frac{1}{2}mV_0 = \frac{1}{2}mV_a^2 + \frac{1}{2}mV_d^2 + \frac{1}{2}mV_r^2 \quad (4)$$

Cancelando-se os termos comuns, fica demonstrado que a velocidade anterior ao impacto pode ser

representada pelas parcelas correspondentes às “velocidades” transformadas após o impacto, resultando em:

$$V_o^2 = V_a^2 + V_d^2 + V_r^2 \quad (5)$$

onde:

V_o = velocidade inicial

V_a = velocidade de arrastamento

V_d = velocidade de danos ic

V_r = velocidade residual

Para a interpretação de um acidente, frequentemente é importante avaliar a velocidade no instante da colisão (V_{ic}), que é definida por:

$$V_{ic}^2 = V_d^2 + V_r^2 \quad (6)$$

Quando há dois veículos, devem-se considerar todas as parcelas separadamente, para cada um deles. Assim, pode-se escrever:

$$\frac{1}{2}m_1V_{o1}^2 + \frac{1}{2}m_2V_{o2}^2 = \frac{1}{2}m_1V_{a1}^2 + \frac{1}{2}m_1V_{d1}^2 + \frac{1}{2}m_1V_{r1}^2 + \frac{1}{2}m_2V_{a2}^2 + \frac{1}{2}m_2V_{d2}^2 + \frac{1}{2}m_2V_{r2}^2 \quad (7)$$

Para a solução do problema prático da determinação das velocidades de dois veículos que se envolveram em uma colisão, observa-se que na equação acima dois valores são desconhecidos, que são as velocidades iniciais, ou seja, aquelas com que trafegavam antes da ocorrência do impacto entre eles, que são V_{o1} e V_{o2} . As outras parcelas poderão ser determinadas com base nas movimentações posteriores à colisão e na avaliação das avarias experimentadas.

3.3.2. Parcela de arraste

É a parcela da velocidade (energia) dissipada durante o processo de frenagem do veículo. Esta componente da velocidade do veículo tem seu cálculo baseado na medição da extensão das marcas pneumáticas no local. O cálculo desta parcela seja feito também com a extensão das marcas pneumáticas de derrapagem ou de rolamento medidas no local.

Além da extensão das marcas pneumáticas, o cálculo desta parcela da velocidade utiliza o coeficiente de atrito entre os pneumáticos e a pista. É imprescindível conhecer as características e condições da via: se plana ou inclinada, seca ou molhada, tipos de superfície, presença ou não de outras substâncias sobre a superfície, o tipo de veículo (tamanho: passeio, utilitário, médios, carga, etc.) e o tipo do seu sistema de freios (ABS, convencional, etc.), além do seu estado de funcionamento.

Dos conceitos da Cinemática e da Dinâmica, com base na equivalência do Trabalho da Força de Atrito com a Variação da Energia Cinética no processo de desaceleração, pode-se demonstrar que a parcela da velocidade correspondente à frenagem (V_f) é:

$$V_f = 15,938\sqrt{d_f \cdot k} \quad (8)$$

onde:

d_f = espaço de frenagem (m)

k = coeficiente de atrito do pavimento

Os coeficientes de atrito podem variar de acordo com a velocidade desenvolvida pelo veículo, com o tipo de pavimento e suas condições gerais. Com relação à velocidade, de acordo com as tabelas publicadas pelo *Traffic Institute*, o que se observa é um comportamento constante abaixo de 48 km/h e outro, também constante, para velocidades acima deste valor. Nas tabelas a seguir podem ser encontrados coeficientes de atrito para veículos leves em processos de frenagem sobre diferentes tipos de pavimento, condições seca e molhada, para as duas faixas de velocidades e também para diferentes tipos de material.

Tabela 1 – Coeficientes de atrito para frenagem (veículos leves)

Fonte: Apostila Curso de Formação – PERITO CRIMINAL – 2008

Superfície		SECA		MOLHADO	
		V<48,37km/h	V>48,37km/h	V<48,37km/h	V>48,37km/h
Cimento	áspero	1,00	0,85	0,65	0,58
	médio	0,70	0,68	0,58	0,55
	polido	0,65	0,58	0,55	0,53
Asfalto	áspero	1,00	0,83	0,65	0,60
	médio	0,70	0,63	0,58	0,53
	polido	0,65	0,55	0,55	0,50
Cascalhos	compacto	0,70	0,65	0,60	0,50
	solto	0,55	0,55	0,60	0,60
Pedras		0,65	0,65	0,65	0,65
Paralelepípedo	áspero	0,88	0,80	0,78	0,79
	polido	0,60	0,55	0,40	0,38
Areia		0,60	0,60	0,70	0,70

Tabela 2- Coeficientes de atrito para diferentes tipos de material

Fonte: Apostila Curso de Formação – PERITO CRIMINAL – 2008

tipo de material	coeficiente	
	seco	molhado
aço sobre aço	0,120	0,080
aço sobre bronze ou ferro fundido cinzento	0,180	0,060
aço sobre gelo	0,014	**
aço sobre madeira	0,500	0,100
ferro fundido cinzento sobre ferro fundido	0,280	0,080
ferro fundido cinzento sobre bronze	0,200	0,080
couro sobre metal	0,480	0,150
couro sobre madeira	0,400	**
borracha sobre metal	0,500	**
lona de freio sobre aço	0,500	**
pedra sobre pedra	0,650	**
madeira sobre madeira	0,500	**

Tabela 3- Coeficientes de atrito para diferentes situações

Fonte: Apostila Curso de Formação – PERITO CRIMINAL – 2008

Tipo de situação	Coeficiente
Caminhão deslizando sobre sua lateral sobre concreto	0.30 – 0.40
Veículo de passeio deslizando apoiado sobre o teto em concreto	0.30
Veículo de passeio deslizando apoiado sobre o teto em asfalto áspero	0.40
Veículo de passeio deslizando apoiado sobre o teto em cascalho	0.50 – 0.70
Veículo de passeio deslizando apoiado sobre o teto em grama seca	0.50
Superfícies metálicas deslizando sobre asfalto	0.40
Superfície metálica deslizando sobre terra	0.20
Metal em atrito com metal (fricção lateral)	0.60

Veículo com veículo (passeio)	0.55
Freio motor engatado em marcha pesada	0.10
Freio motor engatado em marcha leve	0.10 – 0.20
Rolamento livre sem engrenagem e pneus com calibragem normal	0.01
Rolamento livre sem engrenagem e pneus com calibragem parcial	0.013
Rolamento livre sem engrenagem e pneus vazios	0.017
Deslizando sobre neve compacta	0.15
Deslizando sobre gelo ou granizo	0.07
Motocicleta deslizando tombada	0.55 – 0.70
Corpo humano deslizando	1.10
Corpo humano rolando	0.80

5.3.3. Parcela de danos

Esta parcela é um valor obtido através de uma avaliação da extensão dos danos (avarias) experimentados e provocados em uma colisão. Embora seja um valor estimativo, é obtido através da comparação com resultados de “crash tests” da indústria automobilística, bem como em colisões onde os veículos são dotados de registradores de velocidades.

Existem métodos de avaliação dessa velocidade considerando-se medições efetuadas na região avariada. Tais métodos se baseiam na resistência à deformação da estrutura e requerem o conhecimento de coeficientes específicos de resistência da estrutura do veículo, os quais são dependentes do projeto estrutural e da própria composição dos materiais empregados na fabricação. Esses valores são, em geral, tabelados de acordo com o modelo ou classe (dimensões da plataforma) e também com a região afetada (por exemplo, parte frontal mais resistente que laterais e parte posterior. Em nosso país ainda não dispomos de dados confiáveis para uma utilização segura em nossos veículos, tendo em vista que não temos um órgão central responsável pela realização de testes de colisão e fornecimento desses dados para o uso dos profissionais da análise de acidentes.

Tabela 4- Velocidades de danos

Fonte: Apostila Curso de Formação – PERITO CRIMINAL – 2008

Intensidade de avarias	V _d (km/h)
Leve	0 a 20
média	20 a 40
grave	40 a 60
gravíssima	Acima de 60

Tabela 5- Velocidades de danos de acordo com o tipo de avaria

Fonte: FIAT Automóveis

TIPO DE AVARIAS	V _d (km/h)
01. entortar pára-choque na ponta	05
02. entortar pára-choque no centro	10
03. entortar pára-choque na saia	15/20
04. amassar pára-lama	05/10
05. amassar pára-lama rasgando	10
06. amassar pára-lama arrancando	15
07. afundar grade do radiador	30/35
08. afundar grade do radiador, mais colméia	40/45
09. arrancar suspensão	40/45

10. arrancar roda diretriz	40/45
11. partir longarina	50/60
12. arrancar o motor dos calços	60/70
13. arrancar roda motriz	50/60

Tabela 6- Velocidades de danos, de acordo com o tipo de avaria

Fonte: Almeida, Lino Leite de. Manual de pericias em acidentes de trânsito

Tipo de Avaria	Vel. dano(km/h)
Entortar para-choque	05
Quebrar para-choque	10
Quebrar para-choque e grade do radiador	15/20
Quebrar para-choque, faróis, afundar grade, amassar capô, deformar lataria anterior	20/30
Quebrar para-choque, faróis, afundar grade, deformar lataria anterior até encostar-se ao motor sem deslocá-lo	30/40
Quebrar para-choque, faróis, afundar grade, deformar lataria anterior até encostar-se ao motor sem deslocá-lo, deformar suspensão	40/50
Afundar grade do radiador mais colmeia	40/45
Arrancar suspensão	40/45
Arrancar diretriz	40/45
Partir longarina	50/60
Arrancar motor dos calços/ deslocar motor	60/70
Arrancar roda motriz	50/60

5.3.4. Parcela residual

Na maioria dos acidentes, após a colisão, os veículos percorrem ainda mais algum espaço, em consequência da parcela residual de Energia. Esse espaço pode ser utilizado para a determinação de mais uma das componentes da velocidade total.

Após a colisão o veículo pode prosseguir em frenagem, em derrapagem, em capotamento ou simplesmente em processo de rolamento livre até atingir a sua posição de repouso. Para que se possam utilizar os coeficientes adequados, é muito importante que no levantamento de local seja identificado o tipo de marcas que foram produzidas após a colisão, medindo sua extensão.

A velocidade residual (V_r) é então calculada em km/h pela equação:

$$V_r = 15,938 \sqrt{d_r \cdot k} \quad (9)$$

onde:

d_r = espaço residual (m)

k = coeficiente de atrito do pavimento

5.3.5. Cálculo de velocidades com base no raio de curvatura

Um veículo em processo de curva com velocidade constante, tem duas forças atuantes sobre ele que são: a força radial que o mantém no movimento curvilíneo e a de atrito conferida pelos pneumáticos. A partir do momento em que a velocidade do veículo na curva fica mais elevada, a sua aceleração radial aumenta e quando a força radial superar a força de atrito, ocorrerá o deslizamento. Essa velocidade é denominada velocidade limite ou velocidade crítica.

A força radial é dada por

$$F_r = m \cdot a_r = m \cdot (v^2/R) \quad (10)$$

A força de atrito é

$$F_{\text{atr}} = k \cdot N = k \cdot m \cdot g \quad (11)$$

Igualando-se as duas expressões e isolando-se a velocidade, teremos:

$$V_{\text{crítico}} = \sqrt{g \cdot R_{\text{crítico}} \cdot k} \quad \text{m/s} \quad (12)$$

onde:

g = aceleração da gravidade (9,81m/s²)

k = coeficiente de atrito do pavimento para as condições de derrapagem

R_{crítico} = raio crítico em metros

É importante ressaltar que, para que se possa determinar a velocidade que um veículo desenvolvia ao escapar em uma curva, não basta assinalar o raio da curvatura da pista, pois esse fornecerá o valor da velocidade limite para aquela curva. O que se deve medir é o raio de curvatura das marcas de derrapagem produzidas, pois estas sim, darão uma boa aproximação da velocidade que o veículo tinha quando “desgarrou”. Os valores obtidos para as marcas podem diferir muito daqueles obtidos para a curvatura da pista, pois um dos fatores que poderá definir as condições de derrapagem é a “atitude”.

5.5. Método da Conservação da Quantidade de Movimento

5.5.1. Princípio do Impulso e Quantidade de Movimento Linear

O método baseado no princípio do impulso e quantidade de movimento pode ser utilizado para resolver problemas que envolvam força, massa, velocidade e tempo, sendo de particular interesse na solução de problemas que envolvem movimentos impulsivos ou choques.

Considerando-se um corpo de massa *m* submetido à ação de uma força *F*, a segunda lei de Newton pode ser expressa como

$$F = \frac{d}{dt} (mv) \quad (13)$$

onde ***mv*** é o vetor quantidade de movimento. Multiplicando-se os dois lados da equação por ***dt*** e integrando-se do instante ***t₁*** ao ***t₂***, pode-se escrever

$$F \cdot dt = d \cdot (mv) \quad (14)$$

$$\int_{t_1}^{t_2} F \cdot dt = mv_2 - mv_1 \quad (15)$$

A integral da equação anterior é um vetor definido como o impulso linear, ou simplesmente como o impulso da força *F*, durante um determinado intervalo de tempo. Ele é representado como ***P*** o impulso.

5.5.2. Dinâmica dos acidentes

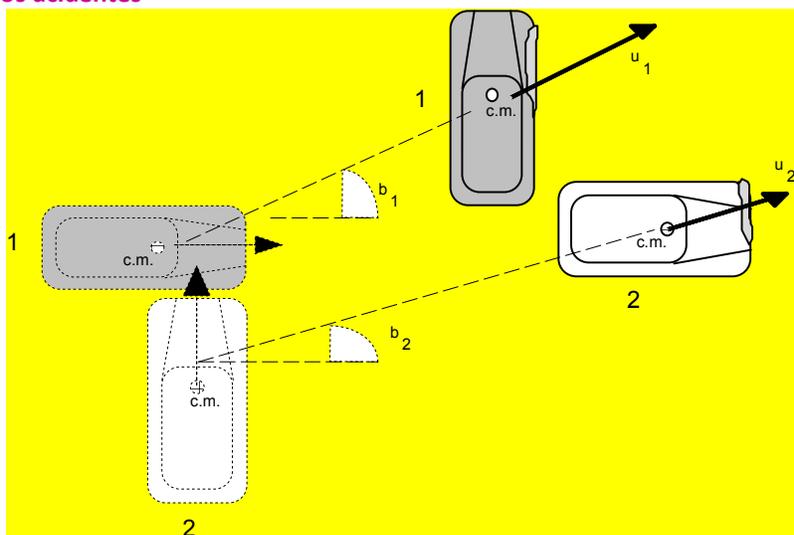


Figura 6 – Colisão perpendicular entre carros

$$v_1 = u_1 \cdot \text{sen}(a_2 - b_1) + m_2/m_1 \cdot [u_2 \cdot \text{sen}(a_2 - b_2)] / \text{sen}(a_2 - a_1) \quad (16)$$

$$v_2 = m_1/m_2 \cdot [u_1 \cdot \text{sen}(b_1 - a_1)] + u_2 \cdot \text{sen}(b_2 - a_1) / \text{sen}(a_2 - a_1) \quad (17)$$

onde:

a_1 e a_2 = ângulos de entrada dos veículos

b_1 e b_2 = ângulos de saída

u_1 e u_2 = velocidades após a colisão

Tabela 7 - Cálculo de velocidades de colisão

m_1 (kg)	m_2 (kg)	a_1	a_2	b_1	b_2	x_1	x_2	u_1	u_2	v_1 (m/s)	v_2 (m/s)
2025	980	0	2	0,07	0,21	28,9	28,3	20,11	19,9	28,02	3,54
2025	1080	0	6	0,07	0,23	28,9	28,3	20,11	18,9	29,57	1,16
2025	1110	0	10	0,07	0,25	28,9	28,3	20,11	17,9	29,53	0,71
2025	1175	0	14	0,07	0,27	28,9	28,3	20,11	16,9	29,63	0,5
2025	1240	0	18	0,07	0,29	28,9	28,3	20,11	15,9	29,61	0,39
2025	1260	0	22	0,07	0,31	28,9	28,3	20,11	14,9	29,19	0,32
2025	1280	0	26	0,07	0,33	28,9	28,3	20,11	13,9	28,74	0,27
2025	1650	0	30	0,07	0,35	28,9	28,3	20,11	12,9	30,47	0,22

6. CONCLUSÕES

6.1. Estudo das causas de acidentes de trânsito

Tomando por base os dados levantados em locais de acidentes de trânsito entre dois ou mais veículos automotores por ocasião das perícias de acidentes de trânsito no intuito de estabelecer a causa, ou causas, do acidente. Todos os passos já realizados, desde o levantamento do local, têm por finalidade esta questão.

No Brasil mais de 40.000 pessoas perdem a vida anualmente em acidentes de trânsito, porém acredita-se que estes números são maiores pois as estatísticas são falhas. Só nas rodovias paulistas em 2001

ocorreram 61.000 acidentes com 2.300 mortes e 23.000 pessoas gravemente feridas. Em todo o mundo o trânsito ceifa vidas, porém os números brasileiros são alarmantes e disparam na frente de qualquer país do mundo.

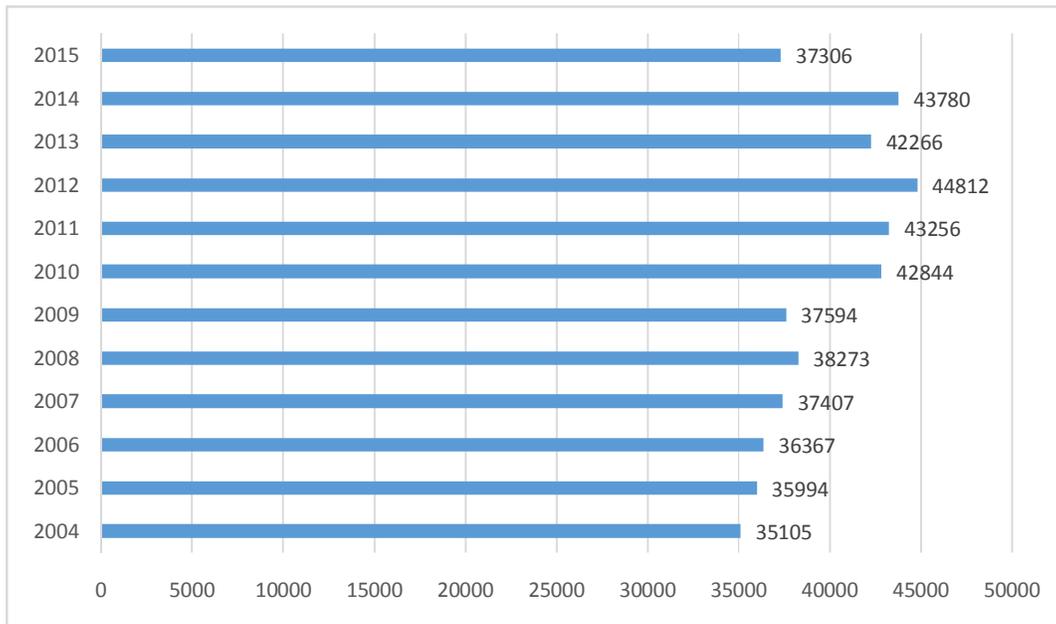


Gráfico 1: Estatísticas nacionais: mortos em acidentes de trânsito
Fonte: DATASUS

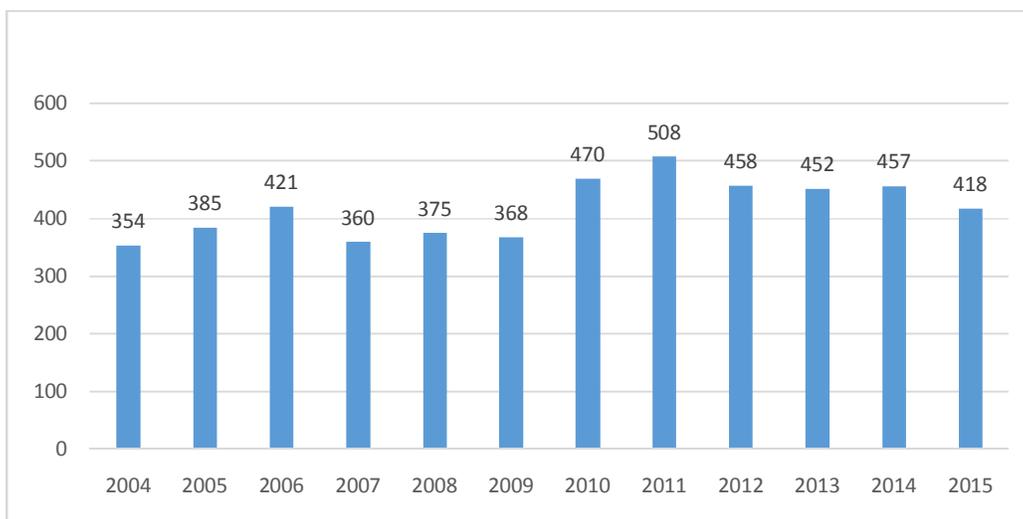


Gráfico 2: Amazonas, mortos em acidentes de trânsito
Fonte: DATASUS

O elemento humano pode participar de forma direta ou indireta, ativa ou passiva, sendo necessário compreender o papel ou função de cada um dos protagonistas no contexto do acidente. São eles:

- **Protagonista direto ativo (PDA):** é aquele que pratica a ação da qual sobreveio diretamente o acidente;
- **Protagonista direto passivo (PDP):** é aquele que sofre diretamente a ação praticada, diretamente por

outro;

- **Protagonista indireto ativo (PIA):** aquele que, por alguma razão, pratica ação ou configura situação que induz outro à prática de ação da qual resulta um acidente com outro condutor;
- **Protagonista indireto passivo (PIP):** não contribui em nada para o acidente, entretanto sofre consequências diretamente.

6.2. Causas determinantes

Causa Determinante é considerada aquela que, afastada, o acidente não ocorre. Em geral está associada a uma infração de alguma norma de trânsito. Ou seja, é lícito pressupor que sem infração de norma de trânsito não há causa de acidente.

Teoricamente, as Causas Determinantes dividem-se em mediatas ou circunstanciais e imediatas ou diretas.

As causas mediatas ou circunstanciais são de ordem subjetiva, então, quase sempre, torna-se impossível materializá-las. Os elementos de distração, situação física e psíquica dos condutores (fadiga, sono) e atos por parte de passageiros são bons exemplos para explicar que dificilmente o perito disporá de condições para constatá-las. Podem elas igualmente se originar de outras situações adversas existentes no Trânsito, provocadas por outros veículos, pedestre, animais ou mesmo por fenômeno da natureza. A despeito da impossibilidade de determinação da causa circunstancial pelo perito, nos locais podem ser encontrados vestígios a ela pertinentes. Esses devem ser mencionados nos laudos e poderão ser utilizados para o esclarecimento da verdade.

Por sua vez, as causas imediatas ou diretas são perfeitamente constatáveis, pois, existindo, ficam materializadas pelos vestígios produzidos.

As Causas Determinantes estão relacionadas ao homem, à máquina e ao meio, assim subdivididas:

- Homem
- Máquina
- Meio

6.2.1. Homem (condutor)

a) Comportamento - deve ser entendido como um estado de conhecimento, por parte do condutor, de uma situação de Perigo por ele próprio criada, e sua persistência nela até a culminação do evento. Reflete, assim, uma ação que será ilegal, perigosa ou inusitada.

O comportamento ilegal caracteriza-se quando se constata que o condutor trafegava em plena desobediência a uma sinalização ostensiva ou evidente. Ex.: avançar linha contínua, trafegar na contramão, etc..

O comportamento perigoso está relacionado a manobras anormais e às condições de tráfego do veículo. Ex.: ultrapassar em acostamento, trafegar ziguezagueando na pista, com o veículo sem freios, ou ainda, com as lonas dos pneumáticos expostas, etc..

Por último, **o comportamento inusitado** é atribuído ao condutor que manobra seu veículo de forma inesperada e não convencional, como o próprio título indica, inusitadamente. Ex.: trafegar sobre o canteiro, passeio, balões, gramados, etc..

b) **Velocidade** – A velocidade está ao nível do comportamento, em relação ao perigo que representa, a ponto de poder afirmar-se, sem necessidade de dados estatísticos, que, se obedecidas as placas regulamentares, o índice de acidentes graves e fatais seria acentuadamente reduzido.

c) **Falta de reação** e/ou **reação tardia** – ocorre naqueles casos em que o condutor não demonstra reação ante o obstáculo à sua frente ou reage em um ponto no terreno, a partir do qual já não é mais possível deter o veículo a tempo de evitar a colisão.

Fatores que influenciam o tempo de reação:

- Definitivos: idade, deficiência física (visão, audição, paralisias etc.);

- Temporários: enfermidades passageiras (resfriado comum, dor de cabeça etc.), álcool, drogas, medicamentos, estado emocional, sono

ÁLCOOL E DROGAS - podem retardar consideravelmente o tempo de reação. As estatísticas americanas de acidentes no trânsito indicam que o álcool está envolvido em quase 50 % dos acidentes com mortes. Alguns especialistas indicam que dependendo da pessoa, apenas dois copos de cerveja podem fazer seu tempo de reação aumentar para 2 segundos.

ESTADO EMOCIONAL - também pode retardar os reflexos e o tempo de reação de um motorista. O indivíduo que trás para o volante suas preocupações de: emprego, salário, conjugais, e frustrações decorrentes de seu dia a dia, poderá alterar muito seu tempo de reação principalmente em função do baixo nível de concentração na atividade de dirigir.

SONO – é um elemento dos mais importantes na causa de acidentes de trânsito, ele é muito pouco estudado, principalmente pela dificuldade de se pesquisar essa variável após a ocorrência de um acidente. São utilizadas duas taxas para estimar o número de acidentes por veículo a motor causados por sonolência. A primeira é baseada na percentagem total de acidentes e o total de acidentes fatais que ocorrem nas horas de maior sonolência, das 2h às 7h e das 14h às 17h (42% do total e 36% dos fatais). A segunda é a percentagem do total de acidentes ocorridos à noite (54%), quando os tempos de reação e de desempenho estão consideravelmente diminuídos. A tendência a adormecer é também aumentada pela privação e pela interrupção do sono, sendo o efeito dessa perda acumulativo.

Tabela 8 – Distância mínima necessária para parar um veículo com base no tempo de reação e na velocidade do veículo.

VELOCIDADE(km/h)	NORMAL	RETARDADO
	(0.75 segs.)	(2 segs.)
	DISTÂNCIA (m)	DISTÂNCIA (m)
50	10	28
80	16	44
90	18	37
100	20	41
110	22	45
120	25	66

FONTE: Apostila Curso de Formação – PERITO CRIMINAL – 2008

- d) **Solução inadequada** – esta causa é aplicada quando se verifica que o condutor vislumbrou um perigo e agiu de forma incorreta para evitá-lo e assim provocou o acidente.

6.2.2. Máquina (veículo)

Deve-se observar com maior atenção a necessidade de um detalhado exame de local, inclusive exames complementares (verificação de sistemas mecânicos, pneumáticos, dentre outros componentes).

Do ponto de vista cronológico, a irregularidade que poderia ter dado causa ao acidente ocorrerá, antes, durante ou depois da colisão.

Tendo ocorrido durante ou após o evento, obviamente será afastada de pronto como Causa Determinante. É perfeitamente possível estabelecer se a falha ocorrida se deu em consequência do evento ou se ela foi produzida de forma intencional.

Se ocorrido antes do acidente, os aspectos objetivos que possam atestar ou não sua previsibilidade,

bem como sua preexistência. A preexistência é equivalente, em nível de responsabilidade, à previsibilidade, e o condutor, nessa hipótese, deverá assumi-la, caracterizando a modalidade do comportamento perigoso. Ex.: o condutor tem conhecimento da deficiência no veículo e assume o risco de colocá-lo em tráfego.

Por exclusão, chegamos finalmente à falha imprevisível, que surpreende o condutor e dá causa imediata ao evento, e só nessa hipótese é ela dada como Causa Determinante. Ex.: rompimento de pneumático em estado de novo, assim como o rompimento de braço de direção do veículo bem conservado, etc..

6.2.3. Meio

Por fim, restam as causas relacionadas ao meio, aqui entendido como sendo a via, guarnecida ou não por sinalização. Quando a Causa Determinante é atribuída ao meio (via), a responsabilidade recairá nos prepostos dos órgãos responsáveis pelo projeto, construção e manutenção, eximindo o condutor direta ou indiretamente. Neste caso, as causas dividem-se em previsíveis e imprevisíveis.

Embora raras, as causas previsíveis registram alguns acidentes cujo o motivo é atribuído ao meio. Ex.: deposição de camada de piche sobre a pista de rolamento sem sinalização própria que impeça o trânsito de veículos. Convém o técnico ser alertado de que o limite da previsibilidade é exatamente o caso fortuito e/ou de força maior, e a caracterização, sempre que possível, deverá ser registrada.

As causas imprevisíveis ligadas ao meio são aquelas decorrentes de força maior, provocadas em decorrência de inundações, vendavais, etc.. Ex.: desabamento de viadutos, pontes, etc..

Vários materiais são utilizados na fabricação de um automóvel até porque também são diversas as funções que os mesmos têm de desempenhar. Então, dependendo da peça e também da marca do veículo encontraremos diferentes materiais e diferentes formas de produção dos mesmos.

Forma, função, custo e segurança são incógnitas a considerar na seleção desses materiais e variando o pretendido, varia também a escolha destes.

6.3. Chassi

O chassi é a parte menos lembrada na hora da manutenção, porém, é uma das partes mais importantes. Embora ele seja o responsável por suportar as torções e cargas que um veículo sofre durante toda a vida, ele também deve ser flexível o bastante para quando ocorrer uma torção excessiva.

Em casos de colisões, ele deve absorver o choque, evitando que os ocupantes do veículo sejam atingidos. Para isso, os modelos atuais são projetados de forma a criar uma célula de sobrevivência ao redor do veículo.

Os veículos modernos têm o chassi desenhado por computador, o que lhe confere maior precisão e eficiência.

Atualmente a maior parte dos automóveis não conta mais com o velho chassi, o que possuem é uma carroceria monobloco. Nesta estrutura o assoalho é estampado juntamente com o restante da lataria, assim todas as partes do corpo do carro saem da linha de montagem como uma peça única, devido a essa característica deu-se o nome de monobloco.

Existe também o monobloco **estruturado**, uma variação do monobloco, conhecido como chassi de treliça pois é montado de maneira que somente a estrutura do veículo faz parte do chassi, toda a lataria e outras partes serão fixadas posteriormente. Diminuir o peso da estrutura e, simultaneamente, oferecer uma superior rigidez e maior resistência às colisões é o objetivo desse tipo de chassis, por isso é escolhido pela maioria dos construtores de veículos de competição.

Essa tecnologia foi utilizada pela primeira vez na produção em série pela Audi, no A8, lançado em 1994. Mais recentemente, a **Fiat** adotou esse conceito e já o aplicou no Fiat Múltipla, dotado de um chassi estruturado constituído de aço de alta resistência.

Na carroçaria utiliza-se predominantemente dois materiais metálicos, o aço e o alumínio. Mas também podem ser feitos de fibra de carbono, Kevlar e, atualmente, são fabricados chassis com magnésio e

materiais compostos, uma mistura de alumínio com fibra de carbono ou Kevlar e fibra de carbono, entre outros.

O aço é uma liga metálica formada essencialmente por ferro e carbono.

Antigamente o aço macio era o metal mais utilizado na fabricação dos diferentes componentes do automóvel, porém, com o objetivo de tornar os automóveis mais leves, seguros e resistentes, o aço macio deu lugar aos aços de alta resistência.

Desde então, a utilização deste tipo de aço tem sido privilegiada pelas seguintes razões:

- Permitem reduzir a massa do veículo, por redução da espessura dos diferentes elementos estruturais e dos painéis da carroçaria, sem que a resistência seja comprometida;
- Estes metais são menos dispendiosos do que matérias plásticas ou alumínio;
- Numerosas partes da carroçaria podem ser feitas em aço de alta resistência sem alteração dos moldes e ferramentas tradicionalmente usadas

O alumínio é abundante na crosta terrestre sendo a sua exploração relativamente fácil. Ele também está sendo cada vez mais utilizado nos automóveis, nomeadamente nas carroçarias, devido as seguintes vantagens:

- A sua densidade ser aproximadamente um terço da densidade do aço;
- O óxido de alumínio formar uma camada fina, que se renova periodicamente- é evitada a degradação do material;
- As ligas deste metal serem facilmente recicláveis;
- Ser de fácil maquinagem;
- Ter grande capacidade para absorver energia, característica que o torna muito indicado para zonas de deformação programada da carroçaria.

Porém, o alumínio apresenta também desvantagens:

- Por ser macio, dúctil e maleável, facilmente surgem deformações devido a esforços;
- A resistência elétrica é cinco vezes inferior à do aço, impossibilitando os processos de soldadura por pontos de resistência;
- O coeficiente de dilatação do material é duas vezes superior ao do aço, o que pode provocar a deformação de peças durante a soldadura.

Analisando os dados, percebemos que não existe um material perfeito mas sim um mais adequado para as diferentes situações e partes do veículo. Assim, quando o objetivo de um determinado componente é ser de massa reduzida, este será produzido em alumínio e não em aço.

Quando o objetivo é reduzir a massa e também aumentar a rigidez de uma parte do automóvel, como nos pilares por exemplo, utilizam-se aços de baixo peso e ultra alta resistência à tração. São aços com elevados conteúdos de Magnésio e Boro, estampados a frio e posteriormente revestidos de Alumínio e Silício para aumentar a sua resistência à corrosão. Desta forma consegue-se um elemento estrutural leve, com rigidez e resistência à corrosão.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores deste trabalho agradecem a UEA pelo apoio da infraestrutura para realização deste.

6. REFERÊNCIAS

- ARAGÃO. Ranvier Feitosa. **Acidentes de trânsito. Análise da prova pericial**. 4. Ed. Millennium Editora, Campinas, SP, 2009;
- BEER, F. P.; JOHNSTON JR., E. R.; **Resistência dos Materiais**. Trad. Paulo Prestes Castilho. São Paulo: McGraw-Hill, 1982.

- CASTEEL, D. A. e MOSS, S. D. **Basic collision analysis and scene documentation**. 2.ed. CA, 1999;
- ELIAS, C. J. **Causas determinantes In: Fundamentos Técnicos Dos Exames Nos Casos De Acidentes De Tráfego - Sua eficácia na definição da responsabilidade**. Monografia - 1º Curso Superior de Polícia. Academia de Polícia Civil - PCDF, 1985;
- Elias, Carlos José, Arnaldo Nadim Miziara, José Cândido Neto e Cléber Nunes Barbosa. **Investigação de Acidente de Trânsito**. Apostila do Curso de Formação Profissional para Perito Criminal. APC. 1992;
- ENDO, Sílvio Kyoji. **Acidentes De Trânsito**. Seção de Delitos de Trânsito, IC/PCDF, 2001;
- ENDO, Sílvio Kyoji. **Investigação em Locais de Acidente de Trânsito**. Apostila do Curso de Formação para Peritos Criminais. APC-DF. 2002;
- EUBANKS, J Jerry J. **Pedestrian Accident Reconstruction**. Lawyers & Judges Publishing Company. Tucson, AZ, 1994;
- FERNANDEZ, José Luiz Rozatto e Sílvio Kyoji Endo. **Tabelas Aplicadas a Acidentes de Tráfego**, com Fórmulas e Comentários. Apostila. Seção de Delitos de Trânsito, IC-DF. 1999;
- HIBBELER, R. C. **Resistência dos Materiais**. 7a ed. São Paulo: Pearson Education, 2010.
- NEGRINE, O. N. e KLEINÚBING, R. **Dinâmica dos acidentes de trânsito. Análises e reconstruções**, 2. Ed. – Campinas, SP, Millennium Editora, 2006;
- SANTOS, Marcos Henrique dos, e Wagner dos Santos. **Atualização em Perícias de Trânsito**. Apostila do 1º Curso de Perícias de Trânsito. SENAS P. 2008;
- SEGURADORA LÍDER. **DPVAT O seguro do trânsito. Boletim Estatístico 2015**;
- MINISTERIO DA SAUDE. **Estatísticas Vias Seguras**, disponível em http://www.vias-seguras.com/os_acidentes/estatisticas/estatisticas_nacionais/estatisticas_do_ministerio_da_saude,
- Seguro Dpvat**. Disponível em http://www.vias-seguras.com/os_acidentes/estatisticas/estatisticas_nacionais/estatisticas_do_seguro_dpvat;
- <https://nacoesunidas.org/oms-brasil-e-o-pais-com-maior-numero-de-mortes-de-transito-por-habitante-da-america-do-sul/>; consultada em março de 2017;
- http://www.vias-seguras.com/os_acidentes/estatisticas/estatisticas_nacionais;e; http://www.vias-seguras.com/os_acidentes/estatisticas/estatisticas_nacionais/estatisticas_do_seguro_dpvat;
- <http://g1.globo.com/Noticias/Carros/0,,MUL1176309-9658,00-Tire+Duvidas+Sobre+A+Carroceria+Do+Veiculo.html>
- https://web.fe.up.pt/~projfeup/cd_2010_11/files/MMM502_relatorio.pdf
- <http://www.portalsaofrancisco.com.br/mecanica/chassi>