

UNIVERSIDADE BRAZ CUBAS
ÁREA DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM SISTEMAS AUTOMOTIVOS

ESTRUTURA VEICULAR

Breno Moura Castro

1 Introdução

O objetivo deste texto é proporcionar aos alunos da disciplina Estrutura Veicular as orientações necessárias para a absorção do material na modalidade de Ensino Presencial.

1.1 Bibliografia

Básica:

BROWN, J. C.; ROBERTSON, A. J.; KROES, M. J. **Motor Vehicle Structures (Automotive Engineering)**. Elsevier, 2001. ISBN-10: 0750651342 ISBN-13: 978-0750651349.

Complementar:

GENTA, G.; MORELLO, L. **The Automotive Chassis: Volume 1: Components Design (Mechanical Engineering Series)**. Springer, 2009. ISBN-10: 1402086741 ISBN-13: 978-1402086748.

STONE, R.; BALL, J. K. **Automotive Engineering Fundamentals**. SAE International, 2004. ISBN-10: 0768009871 ISBN-13: 978-0768009873.

1.2 Objetivos da disciplina

- a) Reconhecer os diversos tipos de estruturas que compõem os veículos automotores.
- b) Escolher os componentes adequados às exigências de geometrias e resistências nas diversas aplicações.
- c) Identificar as partes que compõem as estruturas veiculares.

2 Introdução ao estudo da Estrutura Veicular

Vários são os conceitos relacionados à estrutura de um veículo. Alguns deles são de crucial importância para o reconhecimento dos diversos tipos de estruturas veiculares, suas aplicações e o seu dimensionamento.

Um automóvel é composto de várias partes que podem ser agrupadas nos seguintes subsistemas:

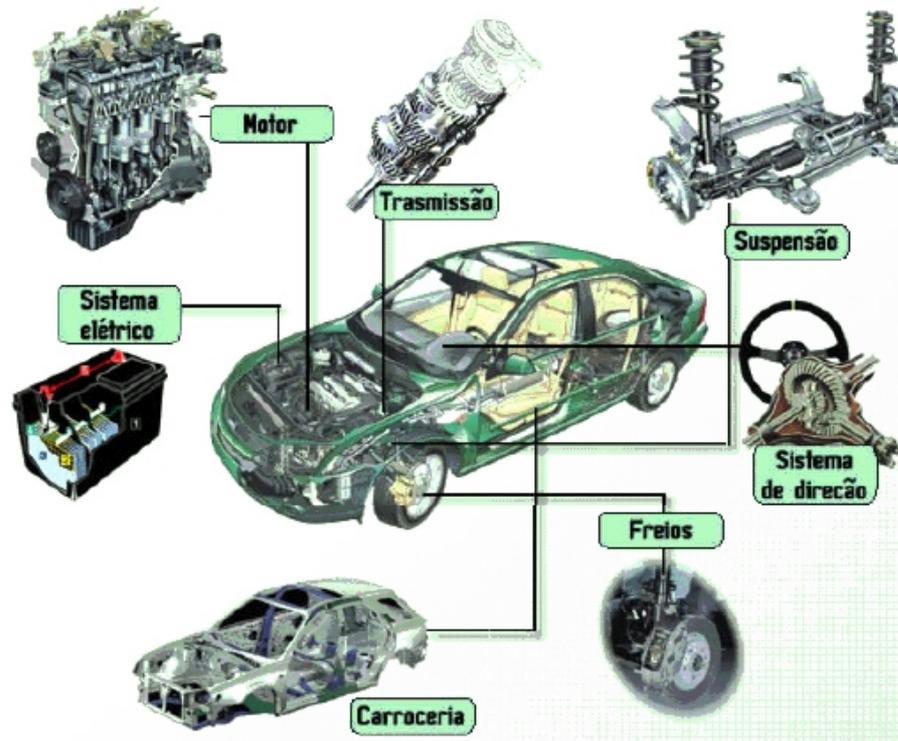
1. Carroceria;
2. Motor;
3. Freios;
4. Transmissão;
5. Suspensão;
6. Sistema elétrico/eletrônico; e
7. Sistema de direção.

A Figura 1 contém uma ilustração destacando os principais subsistemas de um veículo automotor. Dentre estes, a carroceria, a suspensão, a transmissão e o sistema de direção fazem parte da estrutura de um automóvel.

Na sua expressão mais simples um automóvel é uma viga suportada em cada extremidade por rodas, pelo que deve ser suficientemente forte para não dobrar na parte central, isto é, ser resistente à flexão. Um automóvel deve, também, ser resistente aos esforços de torção impostos pelas irregularidades do pavimento sobre o qual roda e a determinadas cargas, tais como o peso do motor, o impulso das molas e pequenos embates. Para que uma estrutura seja resistente, sem ser muito pesada, os materiais que a compõe devem ser utilizados com um máximo de eficiência.

A carroceria deve, além de ser resistente, proporcionar espaço para os ocupantes do automóvel e para as bagagens e também proteger aqueles em caso de acidentes. Uma carroceria demasiadamente rígida absorverá pouco da energia resultante do impacto numa colisão, aumentando, assim, a parcela

que é transmitida aos ocupantes do veículo. Por outro lado, uma carroceria demasiadamente fraca pode abater-se sobre estes.



O movimento do automóvel é contrariado pela resistência do ar e dos pneus. A resistência imposta pelo ar aumenta proporcionalmente com o quadrado da velocidade; por exemplo, se a velocidade duplicar, a resistência ao avanço quadruplica, e se a velocidade triplicar, a resistência passa a ser nove vezes maior.

O efeito da resistência do ar poderia ser reduzido caso a carroceria apresentasse a forma de uma gota de água quando cai, forma impraticável devido à limitação do espaço destinado aos ocupantes. Foi necessário encontrar uma solução de compromisso entre essa forma ideal e das carrocerias antigas, com para brisas verticais e faróis exteriores, que opunham uma grande resistência ao avanço.

A carroceria deve proteger os ocupantes contra as inclemências do tempo e também ser resistente a estas. Se a carroceria for de aço, o fabricante tem de evitar não só as zonas onde possa alojar-se umidade, que provocaria a formação de ferrugem, mas também o emprego de determinados metais em contato com o aço, do que resultaria corrosão por ação eletroquímica.

2.1 Classificação dos tipos de estruturas veiculares

As estruturas veiculares são classificadas como:

1. Chassi
2. Monobloco
 - a) Totalmente monobloco
 - b) Semi monobloco
 - c) Subestruturas independentes

2.1.1 Chassi

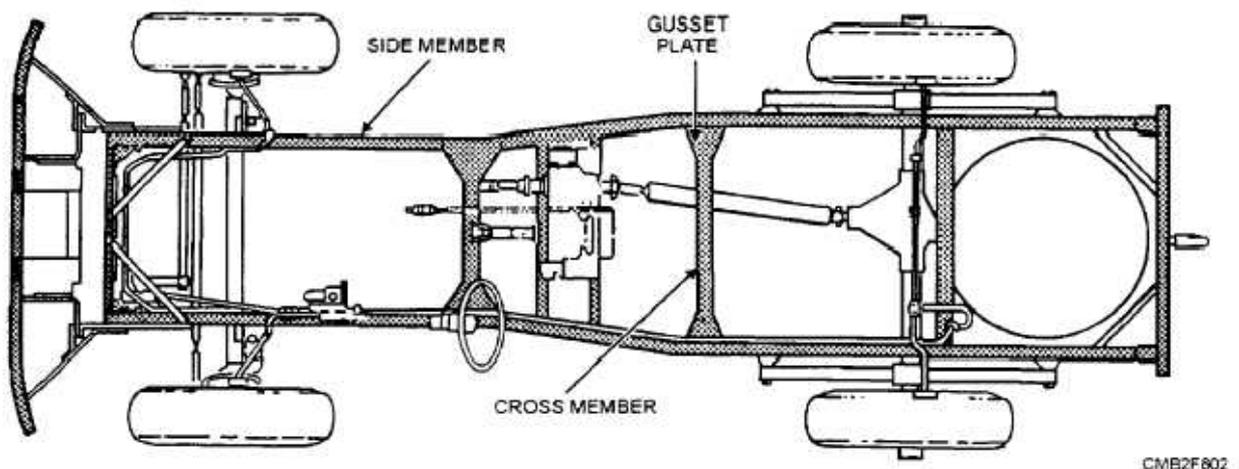
O chassi, resistente estrutura de aço que suporta a carroceria e o motor, é ainda de utilização generalizada nos automóveis americanos, apesar de já não fazer parte da maioria dos modelos europeus.

O modelo clássico de chassi, utilizado desde a década de 1930, consiste em longarinas laterais em forma de U, combinadas com reforços transversais em forma de X, que proporcionam uma maior resistência à torção. Atualmente são utilizadas, em geral, seções retangulares para as longarinas laterais e para os reforços transversais em forma de X, o que lhes confere ainda maior resistência. Com estas estruturas o piso tende a ser alto.

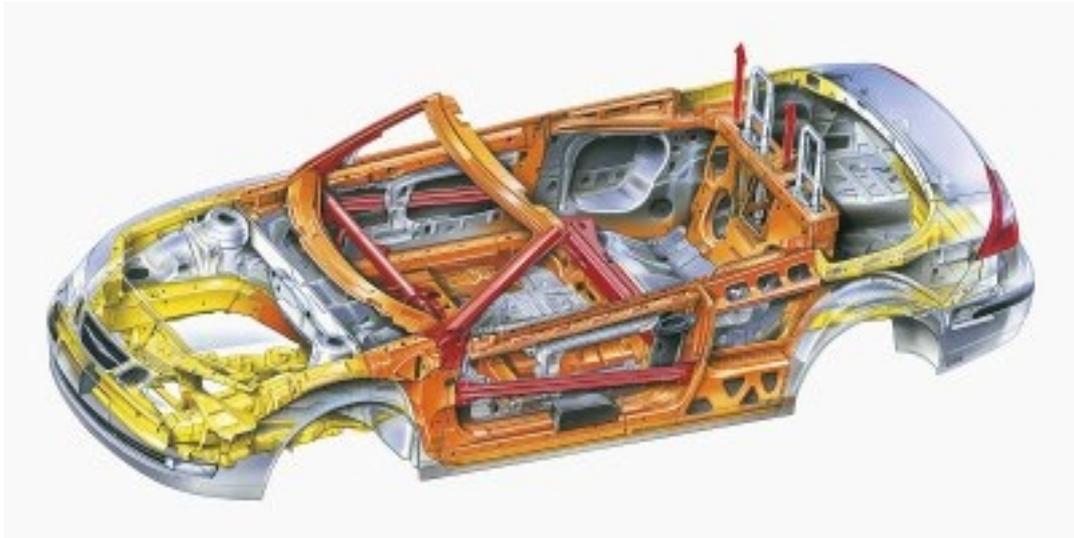
Os modelos esportivos da marca Lotus apresentam um chassi em forma de X, de viga central muito alta, enquanto a Volkswagen utiliza um chassi de piso reforçado e plano. Os chassis dos automóveis americanos apresentam, em geral, os elementos resistentes na periferia para que o piso seja baixo. Esta disposição consiste basicamente num retângulo aberto formado por elementos de seção retangular, sendo os lados menores do retângulo fabricados, de modo a aumentar a resistência à torção, que, de outra forma, seria pequena.

Alguns fabricantes utilizam tubos de aço de grande diâmetro, em vez dos elementos em forma de U ou retangular, já outros soldam um grande número de tubos de pequena seção para conseguir uma estrutura tridimensional leve mais resistente.

A Volkswagen utilizou um chassi tipo plataforma. O piso de aço estampado inclui todos os elementos necessários para proporcionar resistência longitudinal à torção. Este modelo de chassi também permite modificações nas linhas do automóvel.



2.1.2 Monobloco



Um automóvel pode ser constituído por um chassi (quadro, ou leito) aparafusado a uma carroceria ou por um chassi e uma carroceria formando uma unidade.

O conjunto chassi carroceria, normalmente designado por construção monobloco, é a forma mais generalizada. A principal vantagem deste tipo de construção reside no fato de permitir obter carrocerias mais leves. A construção monobloco apresenta três variantes: totalmente monobloco de armação interior, semi monobloco e monobloco com subestruturas.

A estrutura totalmente monobloco, constituída por peças prensadas soldadas entre si, é muito indicada para automóveis de pequenas e médias dimensões. A sua resistência à flexão resulta, em parte, das longarinas horizontais existentes ao longo das bordas exteriores do piso, entre as rodas da frente e as de trás.

Nos automóveis de motor dianteiro e de tração traseira, a resistência é aumentada pelo túnel do eixo de transmissão existente ao longo do piso. Sob este em alguns modelos são acrescentados reforços. O teto reforça o conjunto por meio das colunas de apoio e painéis laterais que o unem ao piso. A resistência à torção é proporcionada sobretudo pelos anteparos, estruturas reforçadas existentes à frente e atrás do compartimento destinado ao motorista e aos passageiros, e também, em parte, pelo conjunto formado pelos pára-lamas e teto unidos pelas colunas dos pára-brisas e laterais.

Uma estrutura totalmente monobloco tem as suas desvantagens – particularmente quanto ao custo de fabricação. Exige investimentos consideráveis em complexa maquinaria de estampagem, que serão apenas justificáveis no caso de uma produção em grande escala. Como neste tipo de construção os painéis fazem parte do conjunto, a reparação dos danos causados por um acidente pode torna-se muito dispendiosa. Toda uma seção da carroceria pode ter de ser cortada e substituída por uma seção muito maior que a danificada.

Há ainda o risco de uma batida maior provocar uma distorção na carroceria. Uma outra desvantagem desta construção reside no fato de, nos modelos comuns, a parte de trás ser um tanto mais resistente quanto mais alta for a travessa posterior do porta-malas, o que exige um considerável esforço para carregar e descarregar a bagagem.

2.1.2.1 Semi monobloco

A carroceria de armação interior, ou semi monobloco, foi introduzida há alguns anos atrás pela Rover, no seu modelo 2 000 tendo sido, desde então, adotada por outros fabricantes de automóveis.

É constituída por uma estrutura básica que compreende o piso, os anteparos, os suportes para o motor, suspensão, as estruturas laterais e o teto, que proporcionam a necessária resistência básica. A esta estrutura são aparafusados os para-lamas, o teto e o painel inferior da frente. Antes da fixação destes elementos e uma vez montadas as rodas e a suspensão, o automóvel pode ser empurrado de um lado para outro – ou mesmo conduzido – sem o risco de ser danificado.

Como os elementos desmontáveis não contribuem para a resistência da estrutura, este tipo de carroceria é um pouco mais pesado do que o de construção totalmente monobloco. Em contrapartida, os elementos desmontáveis são mais fáceis e economicamente substituídos quando danificados. Esta forma de construção permite ainda ao fabricante introduzir facilmente pequenas alterações nas linhas do automóvel.



2.1.2.2 Subestruturas independentes

No fim da década de 1960, verificou-se entre alguns dos maiores fabricantes de automóveis uma tendência para a utilização de subestruturas para suporte de um ou mais dos principais conjuntos mecânicos – o motor, o diferencial e a suspensão. Estas subestruturas são fixas a uma carroceria monobloco simplificada.

Este tipo de construção, embora mais pesado do que o da carroceria totalmente monobloco, apresenta contudo, nítidas vantagens. Como as ligações entre a carroceria e substituídas são flexíveis, a transmissão de ruídos e vibrações é reduzida o que resulta num maior conforto para os ocupantes do automóvel.

Sendo também mais fácil o acesso às peças mecânicas, verifica-se uma redução do tempo exigido pelos trabalhos de manutenção e do custo dos reparos. Este tipo de construção, que pode ser utilizado em automóveis de quaisquer dimensões, simplifica a produção, já que os conjuntos mecânicos podem ser montados separadamente nas suas subestruturas. As modificações nas linhas do automóvel não são, contudo, mais fáceis de introduzir neste tipo de construção do que nas carrocerias totalmente monobloco.

2.1.3 Carroceria

2.1.3.1 Materiais da carroceria

O aço é ainda o material mais económico e eficiente para a produção em série de carrocerias independentes. As peças são prensadas a partir de chapas de aço de diferentes espessuras.

O alumínio, embora tenha um preço mais elevado que o aço, é com frequência utilizado na

produção de alguns veículos, já que é de fácil moldagem manual ou pode ser trabalhado em máquinas relativamente simples. É também mais leve que o aço e não oxida. Uma carroceria de alumínio apresenta, contudo, a desvantagem de ser, em geral, menos resistente que uma carroceria de aço.

Cada vez mais são utilizadas as carrocerias de plástico moldado – em geral o plástico é reforçado com fibra de vidro. Plástico utilizado é normalmente a resina de poliestireno ou, às vezes, a resina de epoxietano, de preço mais elevado. Estes materiais têm a propriedade de endurecer com o calor e não amolecer quando novamente aquecidos.

Os plásticos que tendem a amolecer quando submetidos a altas temperaturas são menos rígidos do que os plásticos reforçados com fibra de vidro, embora sejam mais fáceis de moldar. O acrilonitrila – butadieno – estireno, material resistente e razoavelmente rígido, é utilizado nas tampas dos portamalas, nas grades, etc. , e poderá vir a sê-lo nas carrocerias.

Tabela 1: Propriedades de alguns materiais utilizados em estruturas veiculares.

Material	Densidade (kg/m ³)	Módulo de Elasticidade (GPa)	Tensão de Escoamento (MPa)
Aço	7860	210	250-600
Aço inoxidável	7920	190	520
Alumínio (1% Mg)	2710	69	255
Titânio (6% Al, 4% V)	4460	114	825
Fibra de Carbono	1750	200 - 250	-
Plástico reforçado	1850	150	-

2.1.3.2 A segurança e a carroceria

Para que ofereça o máximo de segurança, a carroceria deve ser constituída por uma caixa rígida e resistente, destinada ao motorista e aos passageiros rodeado por dois corpos, um anterior e o outro posterior capazes de, amolgando-se progressivamente, absorver a energia da batida em caso de colisão.

A construção monobloco é a que melhor se adapta a este fim, já que permite projetar a carroceria de modo que esta inclua diferentes tipos de seções, umas fortes e outras fracas, conforme for necessário. O chassi formado por numerosos tubos de aço de pequeno diâmetro também proporciona um elevado grau de segurança, já que absorve a energia da batida, ao contrário do chassi rígido, que tende a transmitir grande parte dessa energia aos ocupantes do veículo.

Algumas carrocerias de plástico são mais resistentes do que as metálicas em casos pequenos de choque, uma carroceria de acrílo – nitrilo – butadieno – estireno pode recuperar a sua forma original após uma colisão. A oxidação (aparecimento de ferrugens) constitui um verdadeiro perigo nos automóveis de construção monobloco em aço, especialmente quando se verifica nas partes submetidas a maior tensão.

Numerosos acidentes são provocados pela ruptura de uma peça oxidada quando o automóvel circula a grande velocidade, os fabricantes aperfeiçoam constantemente os métodos de prevenção à oxidação.

2.2 Aplicação das estruturas veiculares

A aplicação dos conceitos vistos nas seções anteriores será vista por meio de um exemplo de projeto: a Ferrari F50.

2.2.1 Estrutura da Ferrari F50

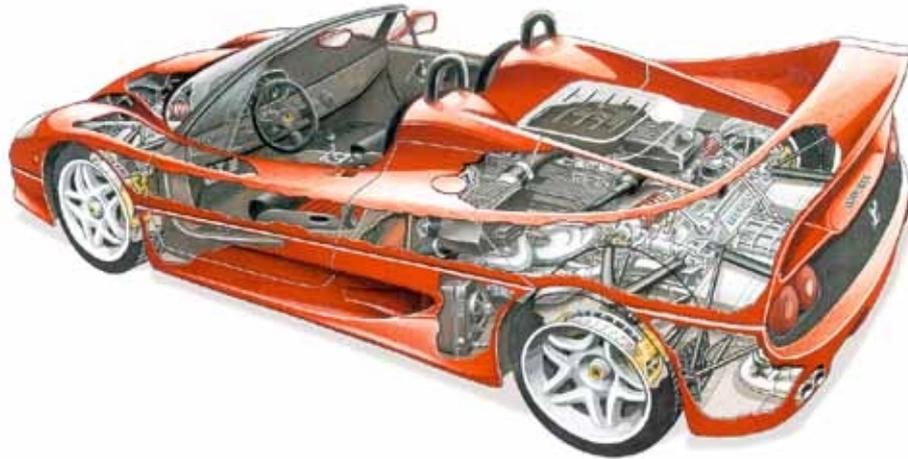


Figura 5: Esquema da estrutura da Ferrari F50.

A carroceria é construída inteiramente de materiais compósitos com fibras de carbono, Kevlar e honeycomb Nomex e disponibilizada em cinco cores: vermelho, vermelho Barchetta, amarelo e cinza Nurburgring. Na versão Berlinetta, a função da capota integral é de complementar a dos elementos estruturais. Na versão Barchetta, a carroceria incorpora pontos de ancoragem para dois anéis de proteção. O motor pode ser visto através da parte transparente e das ranhuras de ventilação da tampa do compartimento do motor



Figura 6: Chassi da Ferrari F50.

O chassi da F50 é feito inteiramente de fibra de carbono, pesando 102 kgf e proporcionando uma rigidez torsional de 34.835 N-m° . Da mesma forma como um carro de Fórmula 1, os ocupantes sentam-se no tubo central formado pelo chassi e o tanque de combustível, feito em borracha de aviação, localiza-se numa posição protegida entre o compartimento dos passageiros, o motor e a suspensão traseira. O resultado é uma posição para dirigir mais dianteira, com uma distribuição de

peso dianteiro por traseiro de 42:58 (42% do peso no eixo dianteiro e 58% no traseiro). Fazendo parte dos elementos estruturais, o motor da F50 funciona como suporte para a suspensão, pára-choques e elementos da lataria. Para garantir o perfeito funcionamento da suspensão, o conjunto motor-eixo de transmissão é rigidamente conectado ao chassi.



Figura 7: Detalhes dos insertos de liga leve.

A suspensão e o conjunto de caixa de marchas são montados por meio de insertos de ligas leves de baixa fadiga copolimerizados ao chassi. Para otimizar a estrutura que serve como ponto de apoio de todo o sistema, até mesmo do ponto de vista da segurança, foram aplicadas técnicas de cálculo baseadas em elementos finitos, utilizando programas que incluíam elementos tipo sanduíche e tipo casca multi-camadas, típicos de estruturas em laminados de material compósito.

Engenheiros e projetistas lidaram com problemas de estabilidade no tempo de elementos estruturais e dimensionais. Os testes de estabilidade dos componentes foram conduzidos em bancos de ensaio computadorizados.

2.3 Princípios de funcionamento

Os elementos de uma estrutura funcionam, de uma forma geral, como responsáveis por resistir a algum tipo de esforço ao qual a estrutura encontra-se submetida.

Os principais tipos de esforços aos quais uma estrutura veicular está submetida são:

1. tração;
2. compressão;
3. flexão;
4. torção;
5. cisalhamento;
6. flambagem; e
7. esforços transitórios.

A estrutura veicular é concebida para resistir a cada tipo de esforço que se apresenta, dependendo da finalidade e das condições de utilização e manutenção do veículo. Alguns componentes têm funções mais específicas com relação a resistir primordialmente a um determinado tipo de esforço. Outros componentes têm funções específicas mas, devido à sua forma e características do material, podem apresentar resistência elevada a esforços não diretamente ligados à sua função.

É importante lembrar que a determinação e a avaliação dos esforços que atuam na estrutura é de crucial importância para a identificação das funções e a atribuição dessas funções a um determinado

componente ou elemento construtivo da estrutura.

Um exemplo de função em um veículo automotor é a transmissão de movimento rotativo do motor para as rodas. Vários componentes ou partes do veículo contribuem para a execução dessa função. Um deles pode ser por exemplo, um eixo de transmissão. Este eixo estará submetido, principalmente a esforços de torção devido ao torque aplicado pelo motor e transmitido às rodas.

Um eixo apresenta, normalmente, uma seção reta circular, podendo ser fabricado a partir de um tarugo ou um tubo. Este eixo será dimensionado para atender ao requisito de resistir ao torque máximo gerado pelo motor e, em consequência, terá dimensões que o tornarão resistente, também, a esforços de tração e compressão ou de flexão, apesar de estes não serem esforços diretamente ligados à sua função principal.

2.4 Elementos construtivos das estruturas veiculares

Os elementos construtivos das estruturas veiculares são, principalmente:

1. chapas;
2. vigas;
3. barras;
4. tubos;
5. eixos;
6. perfis;
7. fundidos;
8. forjados;
9. painéis;
10. peças moldadas;
11. plásticos injetados; e
12. molas.

Estes elementos, no entanto, não compõem uma estrutura de forma isolada. Necessitam de conexões ou ligações com outros elementos. Os principais desta categoria são:

1. soldas;
2. parafusos;
3. pinos;
4. chavetas;
5. rebites; e
6. colas.

Dos elementos construtivos citados, o mais utilizado na indústria automobilística é a chapa. Quanto aos elementos de conexão, um dos mais característicos na construção de estruturas veiculares é a solda. Assim, serão feitos comentários específicos sobre estes dois elementos.

2.4.1 Chapas

As chapas são elementos estruturas que são obtidos pela processo de laminação. Assim, apresentam uma forma plana após esse processo e são recebidas em rolos pelo fabricante da estrutura do automóvel. Na forma plana, as chapas apresentam uma resistência relativamente baixa a esforços de flexão e torção que, como já visto anteriormente, são esforços aos quais a estrutura veicular deve apresentar resistência adequada.

Esta característica de baixa resistência em flexão e torção é função, primordialmente, da espessura ser pequena quando comparada com as duas outras dimensões da chapa. Por outro lado, esta espessura reduzida contribui para uma redução no peso da chapa, o que é conveniente em termos de economia de peso no automóvel.

É necessário, então, que as chapas sofram alterações na sua forma para adquirir o desejado aumento na resistência a esforços de flexão e torção sem, no entanto, perder a característica desejável de baixo peso. Isto é conseguido por meio do processo de estampagem da chapa, proporcionando o surgimento de elementos estruturais que contribuem para o incremento da capacidade da peça final quanto à resistência aos esforços em questão.

O processamento das chapas numa produção de estruturas automotivas compreende as seguintes fases:

1. corte;
2. estampagem; e
3. soldagem.

Inicialmente as chapas laminadas de aço plano, na forma de bobinas, são desbobinadas e cortadas nos tamanhos pré-estabelecidos para cada peça a ser fabricada. Estas chapas cortadas são denominadas blanks e farão a alimentação das prensas. Caso seja feito nos blanks algum trabalho de recorte, como, por exemplo, o corte de uma janela em uma chapa para estampagem de uma porta, esta peça passa a ser dita platina.

Na operação de estampagem, os blanks ou platinas passam por uma série de pesadas prensas, em geral de 4 a 7, onde é feita a conformação da chapa, dando-lhe o formato de uma porta, teto, capô, lateral, assoalho, pára-lama, etc.

Estas são as peças de maiores dimensões e irão compor a superfície externa do veículo. Associada a cada uma destas, são preparadas as peças internas, com função basicamente estrutural. Assim, o rigor de acabamento exigido nas peças internas é bastante inferior ao das de superfície, bem como a dificuldade de estampagem.

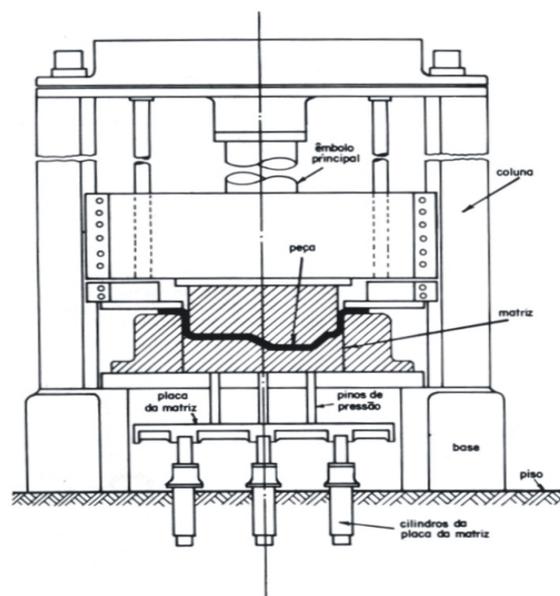


Figura 8: Prensa para estampagem.

Uma vez que todas as peças foram conformadas (estampadas), estas são reunidas formando uma carroceria ou cabine, que será levada à linha de solda. A maior parte das operações de solda são automatizadas e realizadas por grupos de robôs, que fazem o fechamento da carroceria, ou seja, tornam o conjunto estruturalmente estável, chamado, então auto-telaio.

Os robôs desempenham a maioria das operações da carroceria. Na Europa e nos EUA, pelo menos 80% das operações no setor de soldagem da carroceria (body welding shop) são

automatizadas. Em algumas plantas japonesas situa-se entre 93% e 97%.

2.4.2 Solda

A solda promove a união de elementos metálicos na montagem de estruturas capazes de resistir ou transmitir esforços.

Os principais tipos de solda empregados na conexão de elementos estruturais são:

1. elétrica: utiliza varetas de solda com revestimento que se vaporiza, protegendo a soldagem;
2. MIG (solda com gás inerte): utiliza um eletrodo consumível e um gás circunda o eletrodo durante a soldagem; o gás serve para a proteção do arco;
3. TIG: utiliza um eletrodo não consumível; a solda é colocada na região de soldagem manualmente, na forma de uma vareta; usa hélio ou argônio que envolve o eletrodo; o gás serve para proteção do arco;
4. arco submerso: utilizado principalmente para superfícies planas; um material granulado é depositado na frente da solda e cobre a região a ser soldada; o eletrodo consumível é protegido pelo filme criado pelo material granulado aquecido; permite qualidade de soldagem superior à dos métodos anteriores;
5. soldagem por resistência: baseia-se na passagem de corrente elétrica pelas superfícies em contato; a corrente aquece as superfícies causando a soldagem; este efeito é maior com o aumento da pressão sobre as superfícies; e
6. aquecimento: a soldagem pode se dar por qualquer outro processo que aqueça as superfícies que serão soldadas além dos seus pontos de fusão. Esse aquecimento pode ser por gás, laser, feixe de elétrons, etc.

A soldagem da superfície depende da compatibilidade dos materiais utilizados. Materiais que não se misturam ao serem fundidos não podem ser utilizados. O material de adição (solda) deve ter características semelhantes às dos materiais que estará unindo, já que a solda não deve ser mais fraca e nem mais forte do que os materiais originais.

Os principais fatores que influenciam a qualidade da solda são:

1. a união soldada deve ter resistência tão grande quanto a dos materiais antes da soldagem, para evitar que a junção seja um ponto de menor resistência, mas não tão grande a ponto de levar a um custo de soldagem (material e processo) muito elevado ou a um acréscimo desnecessário de peso;
2. o processo de soldagem requer o aquecimento das peças que serão unidas; esse aquecimento gera uma região chamada de “zona termicamente afetada”, que é a região próxima à solda onde o calor adicionado tem influência significativa;
3. o processo de aquecimento localizado também gera um gradiente de tensões no interior das peças. A região próxima à solda, estando mais aquecida, tende a se expandir de forma diferente das regiões mais afastadas. Essa expansão diferencial pode gerar o escoamento de porções localizadas do material, causando tensões residuais quando a junção é resfriada.

3 Estruturas Veiculares

Se considerarmos a estrutura de carroceria como referência, o método de construção monobloco é, hoje, quase que restrito somente ao aço. Já o Spaceframe é mais adequado para alumínio, embora já seja possível utilizar também o aço estrutural na fabricação de perfilados.

Um critério fundamental na seleção do material a ser utilizado é o volume de produção do veículo.

Nos últimos anos, várias pesquisas foram desenvolvidas no sentido de se encontrar materiais que pudessem ser empregados na construção de carrocerias com boa relação custo-eficiência.

Novas ligas de aço foram desenvolvidas, permitindo utilizar espessuras de chapa menores na construção de carrocerias, com a conseqüente redução de peso e melhoria nos resultados de crash-test. Simultaneamente, novas ligas de alumínio também foram desenvolvidas.

No entanto, o aço ainda mantém certa vantagem econômica sobre o alumínio, pois os métodos de produção de carrocerias com este primeiro material estão todos desenvolvidos e a cada ano são melhorados, obtendo melhor eficácia das estruturas e barateamento dos custos. Assim, grandes séries de veículos ainda continuarão a serem produzidas com carrocerias do tipo monobloco em aço.

No futuro, entretanto, será possível a utilização de metais leves nas grandes séries. Mas isto envolverá custos, grandes investimentos e, tal como os itens de segurança (ABS, airbag e etc.), o cliente final deverá estar disposto a pagar um preço mais alto.

3.1 Chassi

O chassi é a peça de suporte que constitui a estrutura básica do veículo, tal qual o esqueleto de um animal ou a grade de metal, em uma televisão, sobre a qual são montadas as placas de circuito impresso ou outros componentes.

Num veículo automotor, o chassi tradicional provê rigidez estrutural e espaço no qual são montados o motor, as rodas, a transmissão e todos os demais componentes mecânicos. Além disto, a carroceria é fixada ao chassi. Originalmente feito de madeira, o chassi veicular logo tornou-se uma estrutura feita em aço e com um formato tipo escada.

O chassi ainda é o tipo de estrutura preferido para a base de veículos comerciais, que freqüentemente são vendidos sem a lataria, incorporando o conjunto moto-propulsor só a um chassi ou a um chassi mais cabine. Assim, uma lataria específica para cada tipo de utilização pode ser adicionada.

Latária sobre chassi era a forma preferida de construção de veículos de passageiros, uma vez que este tipo permitia que novos modelos de veículos, com diferentes estilos de latária fossem lançados sem a necessidade de refazer a maior parte dos componentes estruturais. A partir dos anos 1960, a maioria dos fabricantes optou por projetos de veículos que utilizavam uma latária parcial ou totalmente integrada em um conjunto único com o chassi, de forma que a latária tornou-se parte da estrutura e não apenas a casca externa.

A idéia de um projeto com estrutura única – ou monobloco – foi primeiramente utilizado em aeronaves e, depois, difundido para os automóveis, tornando-se popular entre os fabricantes pois, sem a necessidade de um chassi, havia redução no tempo de fabricação e no peso final do veículo. Estes dois fatores combinados contribuíam para uma redução nos custos de material e de mão-de-obra. O processo de obtenção da carroceria por solda-ponto, conhecido como “Unibody”, é a forma predominante de tecnologia de construção nos dias de hoje.

Os carros de corrida de alta performance, atualmente, não apresentam mais chassi. A sua rigidez estrutural vem de placas e chapas leves, resistentes e estáveis, moldadas com os materiais mais modernos tais como fibras de carbono e plásticos reforçados.

3.2 Monobloco

Os projetos estruturais mais modernos visam aumentar a rigidez com um mínimo de acréscimo no peso. As novas técnicas de projeto contam com auxílio de computadores e pacotes de simulação que contribuem para melhorar a rigidez do veículo tanto quanto a segurança em colisões frontais. Além disto, o reforço de áreas de resistência a cargas na estrutura ajuda a reduzir vibrações.

A utilização de proporções crescentes de aços de alta resistência é, também, uma tendência atual. No New Fit da Honda, por exemplo, a proporção de aços de alta resistência cresceu de 40%

para 54% quando comparada com o modelo anterior. Em consequência, a rigidez da parte frontal desse veículo cresceu 164%. O resultado final é uma carroceria de alta performance, com melhores características de condução do veículo e de segurança.

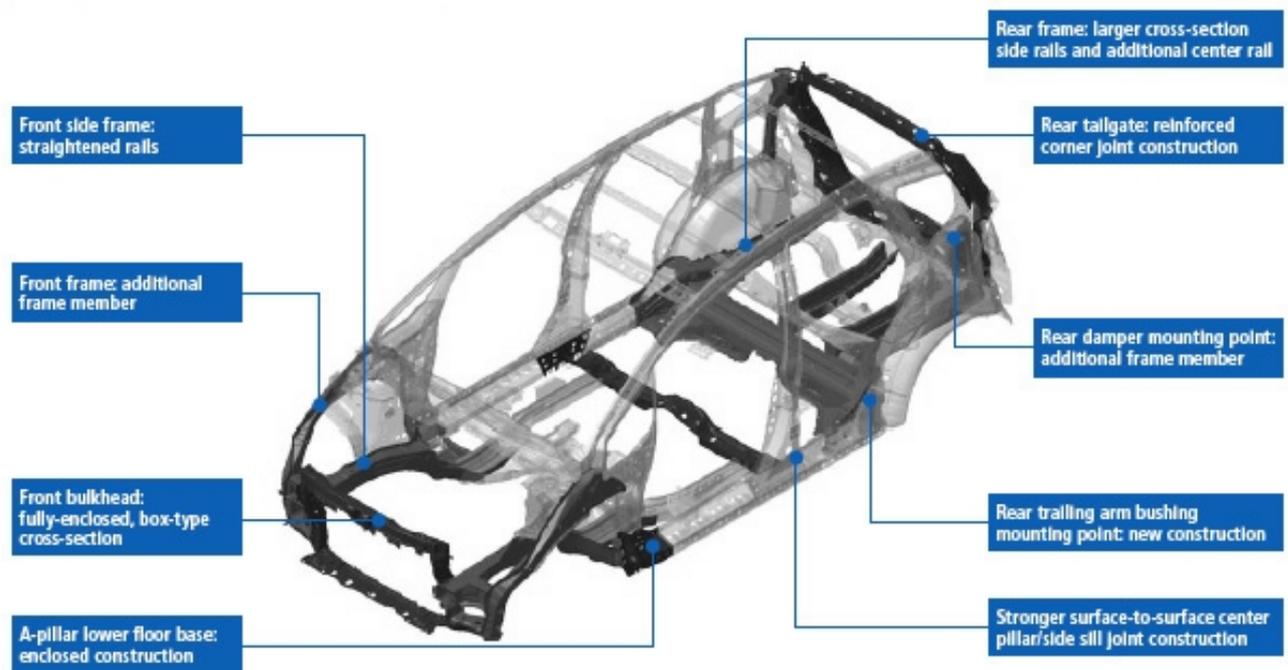


Figura 9: Inovações na estrutura do New Fit.

Uma outra tendência atual é a de fazer com que a estrutura distribua o carregamento por suas várias partes constituintes. Isto também contribui para um aumento da rigidez e da segurança em colisões frontais do veículo. Uma alternativa para isto é a inclusão de um quadro no assoalho que se junta ao quadro frontal do veículo, possibilitando, assim, um projeto mais robusto estruturalmente.

O quadro frontal apresenta uma seção reta do tipo caixa para melhorar a rigidez à torção.

O quadro traseiro dos monoblocos apresenta trilhos laterais e centrais. Um segundo quadro traseiro com chapa mais fina, mas com trilhos apresentando seções retas maiores, pode ser somado à estrutura, tanto para melhorar a sua rigidez quanto a sua eficiência em termos de compactação.

Os pontos de montagem da suspensão no monobloco são construídos de forma que as cargas são absorvidas pela parede lateral do membro transversal da estrutura. Mais uma vez, a preocupação com a rigidez estrutural faz parte do projeto desta parte da carroceria. Reforçadores e absorvedores de choque devem ser acrescentados para garantir uma resistência adequada a esforços verticais e uma boa dirigibilidade do veículo.

Os ruídos associados à marcha-lenta, à vibração e ao cruzeiro têm, cada um, a sua frequência de ressonância específica. Atuando nas áreas em que as tensões se acumulam, tais como pontos de conexão de partes da estrutura e reforçadores, estes ruídos podem ser diminuídos. A distribuição dos esforços pela estrutura pode contribuir para a dispersão das ressonâncias e possibilitar uma condução mais macia do veículo.

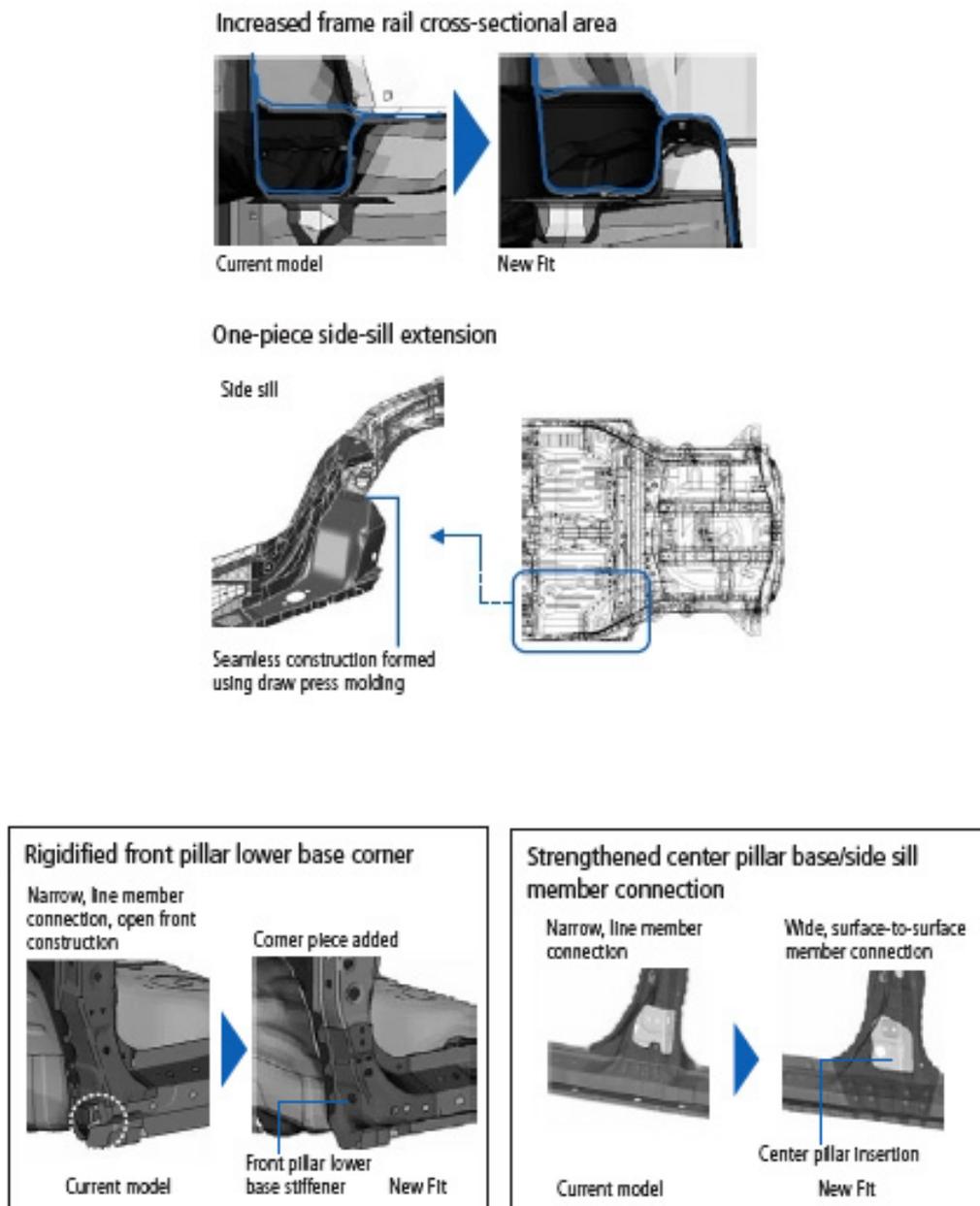


Figura 11: Detalhes dos pilares frontais e laterais.

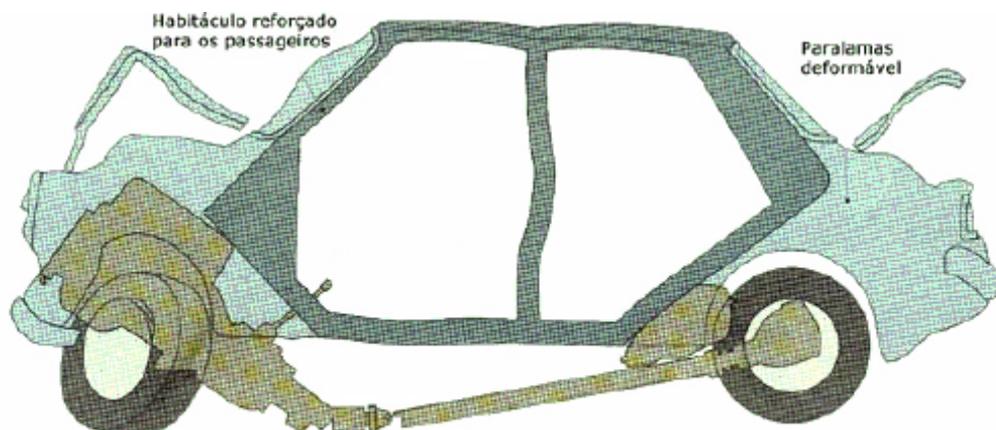
Como comentado anteriormente, a utilização de materiais mais resistentes e de soluções como seções transversais de quadros e vigas mais eficientes, além da distribuição de esforços por toda a estrutura, contribuem para aumentar a rigidez estrutural sem comprometer o peso do veículo.

A segurança quanto a colisões também deve ser uma preocupação constante no projeto de carrocerias. O tipo monobloco possibilita a absorção da energia associada ao impacto de forma mais adequada para a segurança dos ocupantes do veículo.

Existem, hoje, ferramentas computacionais para a simulação do comportamento da estrutura frente a colisões frontais, laterais e traseiras.

3.3 Carrocerias e habitáculos

Um automóvel deve ser concebido de modo que as probabilidades de que venha a sofrer um acidente sejam muito reduzidas e também de modo que, caso este ocorra, os riscos dos passageiros ficarem feridos seja reduzido ao mínimo possível.



As carrocerias consistem num habitáculo resistente e rígido, destinado ao motorista e passageiros, em casos de colisão, cedem progressivamente, a fim de absorver energia e diminuir o impacto sobre a caixa central, onde se encontram os ocupantes.

O automóvel deve oferecer ao motorista boa visibilidade e também comodidade para que este não se canse facilmente. Para satisfazer o primeiro requisito deve-se reduzir as dimensões dos pontos de visibilidade nula, como, por exemplo, as colunas. Deve, também, manter os pára-brisas sempre limpos de água da chuva ou de sujeira e evitar, mediante a uma boa ventilação, o embaçamento interior dos vidros em tempo frio.

A temperatura no interior do automóvel e a renovação do ar também influem na eficácia da condução do veículo pelo motorista, já que tanto o frio como a atmosfera pouco arejada contribuem para a fadiga.

Os bancos, fundamentais para o conforto do motorista e dos passageiros, devem proporcionar um bom apoio para as costas, de forma a permitir uma postura adequada e, numa certa medida, impedir o deslocamento dos ocupantes devido a uma força centrífuga a que estes são submetidos quando o automóvel faz uma curva.

Uma vez sentado, o motorista deve poder observar os diversos instrumentos do painel e alcançar os diferentes comandos sem que seja necessário inclinar-se ou desviar sua atenção da faixa de rodagem. Segundo as normas de segurança, todas as superfícies contra as quais os ocupantes possam se chocar em caso de acidente devem ser almofadados; as colunas da direção não devem deslocar-se demasiadamente para trás em caso de choque frontal e devem absorver o impacto. Os diversos interruptores e comandos não devem ser demasiados salientes em relação ao painel e as fechaduras não devem permitir que as portas se abram em decorrência de uma colisão.

Os automóveis atualmente fabricados apresentam também um apoio para a cabeça, que tem a vantagem de evitar lesões no pescoço em caso de choques por trás, embora possa obstruir bastante a visibilidade do motorista nas manobras em marcha ré. Nos últimos tempos tem havido notáveis progressos no domínio dos vidros para o pára-brisas e as janelas. O vidro laminado de segurança, resiste melhor à penetração, oferecendo menor perigo.

Os cintos de segurança contribuem significativamente para a segurança, reduzindo os riscos de lesões graves em pelo menos, 50% dos casos de acidentes. De acordo com o Código de Trânsito, todos os automóveis devem estar equipados com os cintos de segurança para o motorista e para os

passageiros que constem na sua capacidade de transporte indicado para cada veículo. A lei não exige em alguns países, que os cintos sejam utilizados, havendo assim muitos motoristas que não se beneficiam das suas vantagens principalmente no que se refere a acidentes.

3.3.1 Características que aumentam a segurança de um automóvel

Para reduzir o mínimo possível o perigo de lesões dos ocupantes em caso de um acidente, o interior do automóvel deverá apresentar o menor número possível de saliências agudas nos lados, no teto e no painel. Alguns comandos e interruptores de modelos antigos tornavam-se perigosos, visto serem demasiados salientes. Os acabamentos do painel ou do porta-luvas deverão ser almofadados para suavizar a pancada caso o ocupante do automóvel seja projetado para frente, tal como acontece nas frenagens bruscas.

Renovação do ar no interior do veículo - Ao mesmo tempo em que se torna cada vez mais fácil regular a temperatura no interior do automóvel, aperfeiçoa-se também o sistema de ventilação. As entradas de ar fixas situam-se geralmente por baixo do pára-brisas, enquanto as reguláveis se encontram no painel. A corrente de ar passa sobre as janelas e sai por respiros.

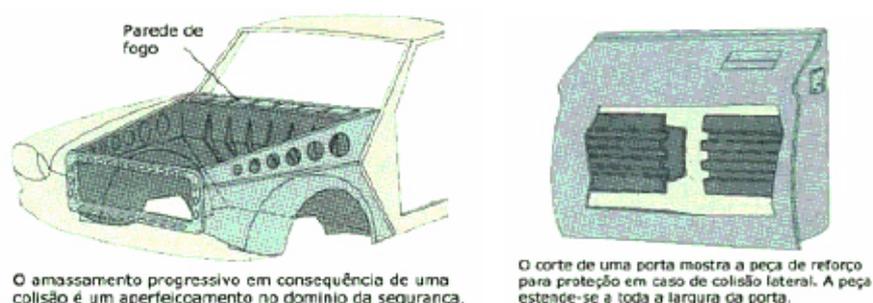
Fechadura das portas – Além das fechaduras das portas normalmente acionáveis pelo interior ou pelo exterior, numerosos automóveis apresentam fechaduras que evitam que as crianças abram as portas pelo lado de dentro.

Numa batida mais violenta qualquer ocupante que, pelo o fato de não estar usando o cinto de segurança, seja projetado por uma porta que se abra tem o dobro de probabilidade de sofrer um batida mortal do que outro que não tenha sido projetado. Por conseguinte, uma fechadura que não ceda em caso de colisão proporciona maior segurança a este passageiro.

Pormenores que aumentam a segurança do motorista – Alguns dos melhores e mais modernos bancos da frente apresentam um encosto de inclinação regulável.

Nos automóveis mais modernos, quando o encosto do banco traseiro pode ser inclinado para frente a fim de permitir o acesso ao compartimento de trás, existe um trinco que o mantém fixo em caso de colisão.

Mecanismo de acionamento dos vidros das janelas – As fechaduras das portas e as manivelas de acionamento dos vidros devem ser concebidos de modo a não causar ferimentos em caso de acidente. Os vidros devem permanecer nivelados ao serem acionados, para não empurrarem e não permitirem entrada de ar quando estão levantados.



O amassamento progressivo em consequência de uma colisão é um aperfeiçoamento no domínio da segurança.

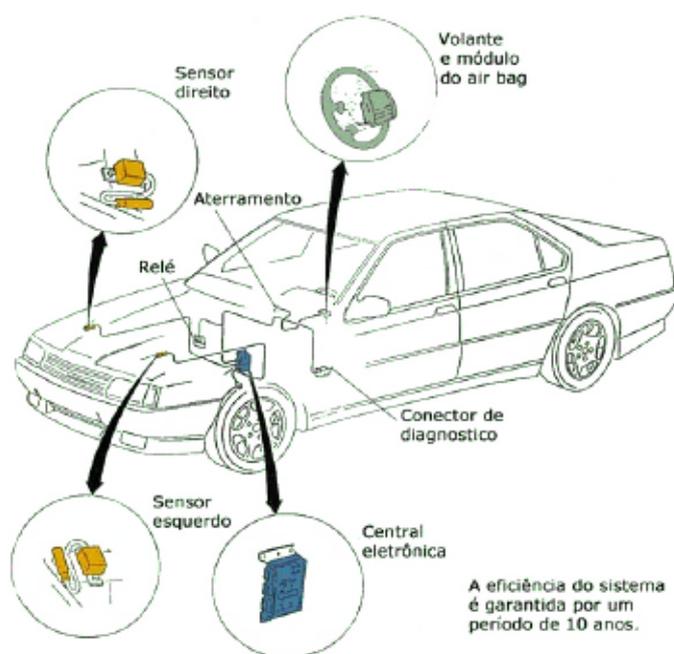
O corte de uma porta mostra a peça de reforço para proteção em caso de colisão lateral. A peça estende-se à toda a largura da porta.

Figura 13: Estruturas que contribuem para a segurança.

3.3.2 Airbag

A segurança do condutor foi aumentada adotando, como complemento o cinto de segurança, em alguns veículos, o dispositivo air bag que protege, intervindo instantaneamente em caso de choque frontal, do impacto contra o volante.

O AIR BAG é um dispositivo de segurança constituído por uma bolsa que, em caso de choque frontal, infla-se automaticamente, interpondo-se entre o corpo do motorista e as estruturas do veículo (volante).



A fim de que este dispositivo possa oferecer à máxima segurança, é indispensável que o motorista esteja usando o cinto de segurança com pré-tensionador porque, somente neste caso estará garantida a máxima eficiência de intervenção. Um sensor mecânico de desaceleração, calibrado adequadamente, levanta a condição de choque e dispara, através de dois detonadores, a reação de um composto químico que produz azoto. O azoto se encarrega de inflar instantaneamente a bolsa em tecido sintético, alojada no centro do volante do veículo.

O funcionamento do sistema AMSFACEBAG é acionado por um dispositivo que intervém quando o veículo atinge ou supera um limiar de desaceleração estabelecido durante o projeto, que corresponde a um choque frontal a uma velocidade de aproximadamente 18 km/h. Estes parâmetros dependem de diversos fatores, entre os quais o peso do veículo, a estrutura, etc. e, portanto, não são os mesmos para todos os modelos.

A partir do momento no qual se verifica o choque, ocorre o disparo do sistema de enchimento e a pressão do gás começa a subir gradualmente na bolsa, a qual é ainda retida pela tampa do módulo (constituído pelo recobrimento plástico situado no centro do volante). O corpo do motorista ainda está na posição normal.

A partir do momento do choque, a pressão existente na bolsa sobe até atingir um valor de aproximadamente 3 a 4 kg/cm², com a conseqüente abertura da tampa do invólucro, saída do traveseiro, e o início do enchimento. O corpo do motorista, neste período de tempo, começa a deslocar-se para frente e encontra-se aproximadamente entre a posição normal assumida na direção, e a posição de colisão com a bolsa. No momento em que a bolsa é liberada de seu invólucro, a pressão do gás sobe velozmente pôr causa da rápida expansão da própria bolsa. Em um certo momento, a

pressão tende a assumir valores negativos.

A pressão na bolsa reassume valores positivos uma vez que, a partir deste momento, inicia-se o enchimento propriamente dito que colocará a bolsa em condição de expansão máxima. Então dá-se o impacto do corpo do motorista com a bolsa. Na bolsa, a pressão continua a subir, até atingir o seu valor máximo (aproximadamente 0,3 a 0,4 kg/cm²), momento em que a cabeça e uma parte do corpo do motorista apóia-se totalmente na bolsa. Em seguida a pressão na bolsa cai, até anular-se.

Dispositivos com módulo de airbag eletrônico separado do travesseiro funcionam com dois sensores localizados no vão do motor, normalmente nas laterais, direita e esquerda; tratam-se de acelerômetros que têm a função de enviar um sinal à central em caso de desaceleração brusca. Uma central eletrônica que recebe o sinal dos acelerômetros e envia em tempo real um sinal de intervenção ao módulo airbag propriamentedito.

Um terceiro acelerômetro no interior da central eletrônica tem a função de verificação e controle de forma a impedir o acionamento do dispositivo em caso de choques laterais, solavancos imprevistos ou outras causas acidentais.

O módulo airbag localizado no volante contém um cartucho explosivo. A central, após receber o sinal dos sensores, comanda a explosão do cartucho, causando uma reação química que gera um gás que infla a bolsa; a bolsa desinfla expelindo o gás através de furos calibrados adequadamente.

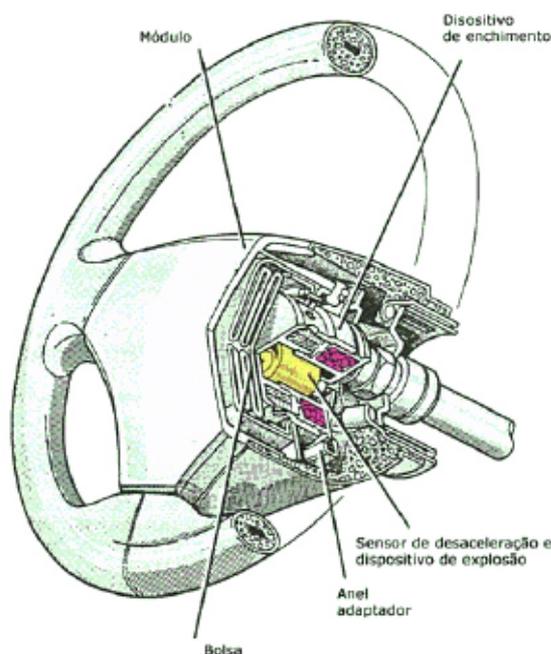


Figura 15: Airbag localizado no volante de direção.

Vida útil dos dispositivos – A eficiência do dispositivo é garantida pôr um período de 10 anos a partir da primeira instalação, com vencimento gravado na plaqueta colocada no veículo. Ao vencimento desta data, o dispositivo deverá ser ativado e destruído como prescrito pelos regulamentos governamentais vigentes.

3.4 Suspensão veicular

Se o pavimento das faixas de rodagem oferecesse perfeitas condições de rolamento, os automóveis não necessitariam de um sistema complexo de suspensão para proporcionar conforto aos

seus ocupantes. Um bom sistema de suspensão deve incluir molejamento e amortecimento. O primeiro consiste na resistência elástica a uma carga e o segundo na capacidade de absorver parte da energia de uma mola após esta ter sido comprimida.

Se esta energia não for absorvida, a mola ultrapassará bastante a sua posição original e continuará a oscilar para cima e para baixo até que essas oscilações cessem.



Figura 16: Princípio de funcionamento da suspensão.

O amortecimento converte a energia mecânica em energia calorífica. Para reduzir o ruído e aumentar a suavidade, as molas são montadas sobre borracha. O sistema de suspensão inclui ainda almofadadas dos bancos, que também protegem contra as vibrações.

As dimensões das rodas constituem um fator importante para uma marcha suave. Uma roda grande transporá a maioria das irregularidades do pavimento; contudo, não é viável uma roda suficientemente grande para anular os efeitos de todas essas irregularidades. Uma roda não deverá também ser tão pequena que caiba em todos os buracos da superfície da faixa de rodagem o que resultaria numa marcha irregular.

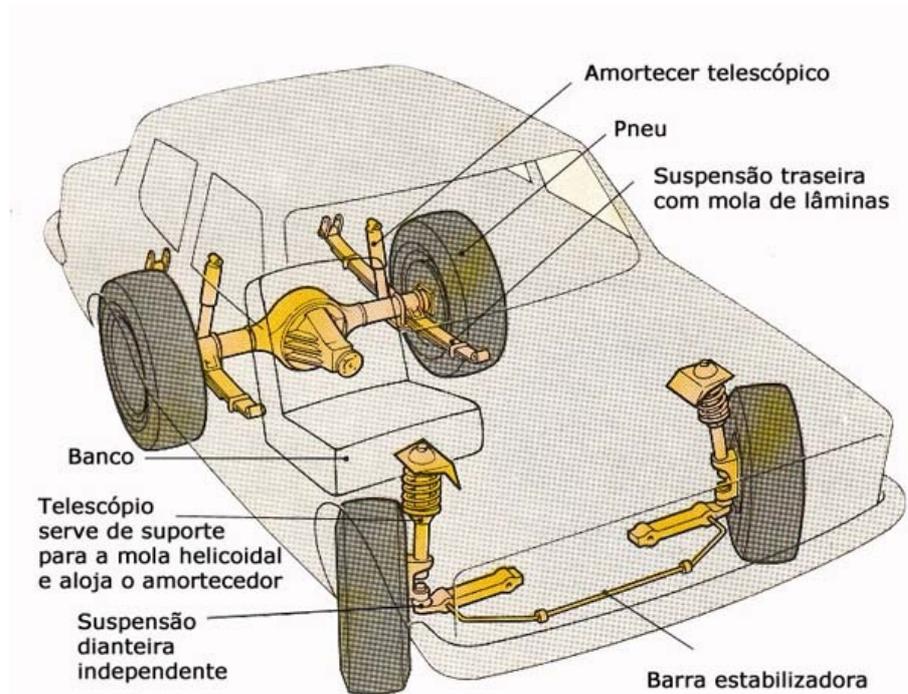


Figura 17: Esquema comum de suspensão.

3.4.1 Suspensão dianteira

Os eixos da frente constituídos por uma só peça, de seção perfilada, sobre os quais se apoiava a carroceria, por meio de molas de lâminas, foram há vários anos substituídos por suspensões independentes para cada uma das rodas dianteiras, o que melhora a condução e permite uma marcha muito mais confortável.

Num sistema de suspensão dianteira independente, cada roda da frente está ligada à carroceria do automóvel pela sua própria articulação de molas, de modo que seu movimento não interfira no da outra roda. As duas suspensões independentes podem contudo, serem ligadas à uma barra de torção. Esta barra estabilizadora, montada transversalmente em relação à linha de eixo do automóvel, evita que este se incline demasiado ao descrever uma curva.

Durante uma trajetória, o automóvel está sujeito, através das rodas, a muitos esforços. A suspensão deve impedir que esses esforços desviem o automóvel do trajeto escolhido pelo motorista, não devendo também permitir que as rodas oscilem, se desloquem para trás, para a frente ou para os lados ou alterem consideravelmente o seu ângulo de inclinação. Qualquer desses efeitos iria interferir na direção.

3.4.1.1 MacPherson

Alguns sistemas de suspensão apresentam, em vez de forquilhas duplas, um braço simples com um tirante em diagonal e um tirante telescópico para cada roda da frente. Este tipo de suspensão é designado por MacPherson.

A manga de eixo na qual está montada a roda faz parte da metade inferior do tirante telescópico. O tirante gira ao ser acionada a direção. A sua parte superior, está ligada à carroceria por meio de uma união flexível, enquanto a parte inferior se liga ao braço inferior por meio de uma articulação da rótula ou pivô.

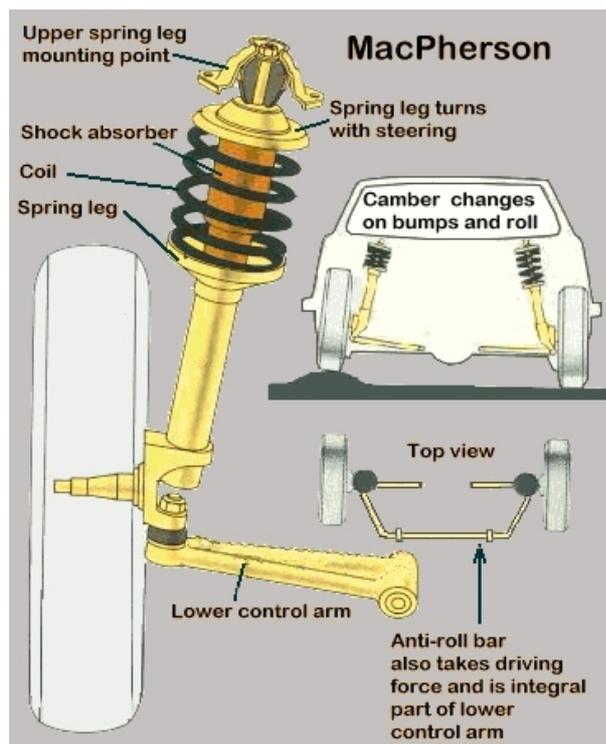


Figura 18: Esquema da suspensão MacPherson.

Para absorver os choques resultantes das irregularidades do pavimento, uma mola helicoidal rodeia a parte superior do tirante, o qual, por sua vez, contém um amortecedor hidráulico. Várias razões justificam a grande popularidade deste sistema, entre as quais a sua simplicidade mecânica e a inclusão de peças móveis leves que ajudam as rodas a anular os choques provocados pelas irregularidades do pavimento, evitando também a excessiva inclinação lateral daquelas.

Por outro lado, este sistema exige uma carroceria muito resistente acima das passagens das rodas (onde estão fixados os batentes superiores), para que aquela possa absorver a totalidade dos esforços a que está sujeita a suspensão.

3.4.2 Suspensão traseira

Na maioria dos automóveis, a suspensão traseira tem de suportar a maior parte da carga adicional, que corresponde ao peso dos passageiros e da bagagem. Se as molas da suspensão forem suficientemente rígidas para suportar apenas o peso do automóvel e do motorista, serão demasiado macias quando o automóvel estiver completamente cheio e vice-versa.

Os fabricantes recorrem a vários processos para resolver estas dificuldades. A suspensão traseira pode incluir eixos motores com molas de lâminas ou eixos motores com outros tipos de molas e dispositivos de fixação, havendo ainda variações de suspensão independente que utilizam molas de lâminas ou helicoidais, barras de torção, borrachas, dispositivos pneumáticos e hidroelásticos, etc.

Eixo – Os eixos reúnem o diferencial, os semieixos, os cubos e tambores das rodas numa só unidade. Esta unidade está ligada ao eixo de transmissão e a carroceria de modo a poder mover-se para cima e para baixo e suportar as cargas e as forças de torção que lhe são impostas.

A suspensão traseira pode também ser concebida de modo a manter o eixo em posição, a fim de diminuir as oscilações e correspondentemente vibrações a que este está sujeito, especialmente quando o

automóvel arranca, freia ou faz uma curva.

Os amortecedores, que absorvem as oscilações das molas são, na sua maioria hidráulicos, sendo o tipo telescópico o preferido atualmente, em vez do tipo com pistão.

Sistema Hotchkiss – É este o sistema que combina de forma mais simples a suspensão e a fixação do eixo traseiro, apresentando um par de molas de lâminas montado sob o eixo. O eixo pode ficar apoiado precisamente na parte central das molas ou, com frequência, mais à frente, para permitir uma inclinação para diante, quando o eixo sobe, ao rolar o automóvel sobre um pavimento irregular. Deste modo, reduz-se o movimento ascendente da parte traseira do eixo de transmissão e torna-se possível diminuir a altura do túnel do eixo de transmissão que assim fica menos elevado no interior do automóvel.

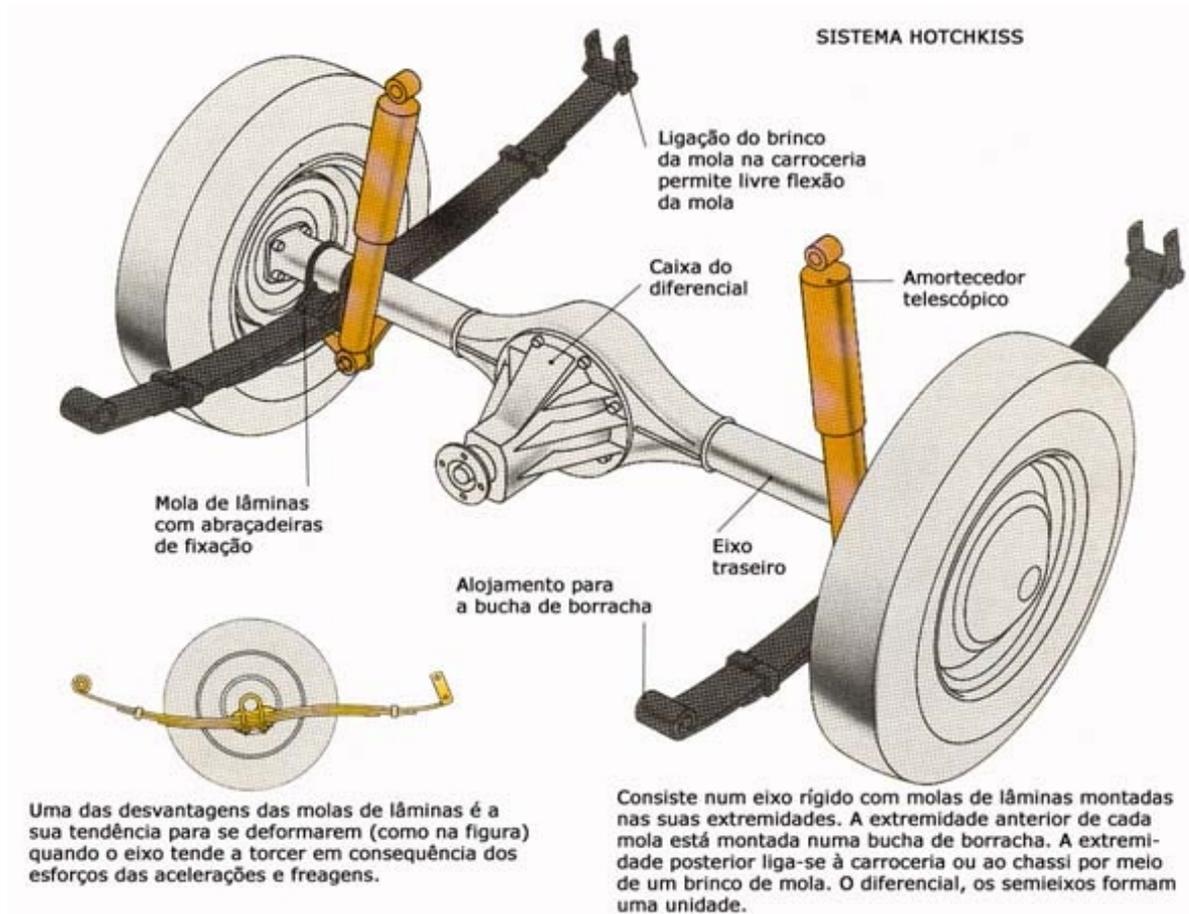


Figura 19: Esquema da suspensão Hotchkiss.

Para reduzir as variações na inclinação do eixo, resultantes das diferentes condições de marcha, algumas suspensões traseiras apresentam, como complemento das molas de lâminas, peças de união limitadoras da torção.

3.4.2.1 Suspensão traseira independente (semi eixo flutuante)

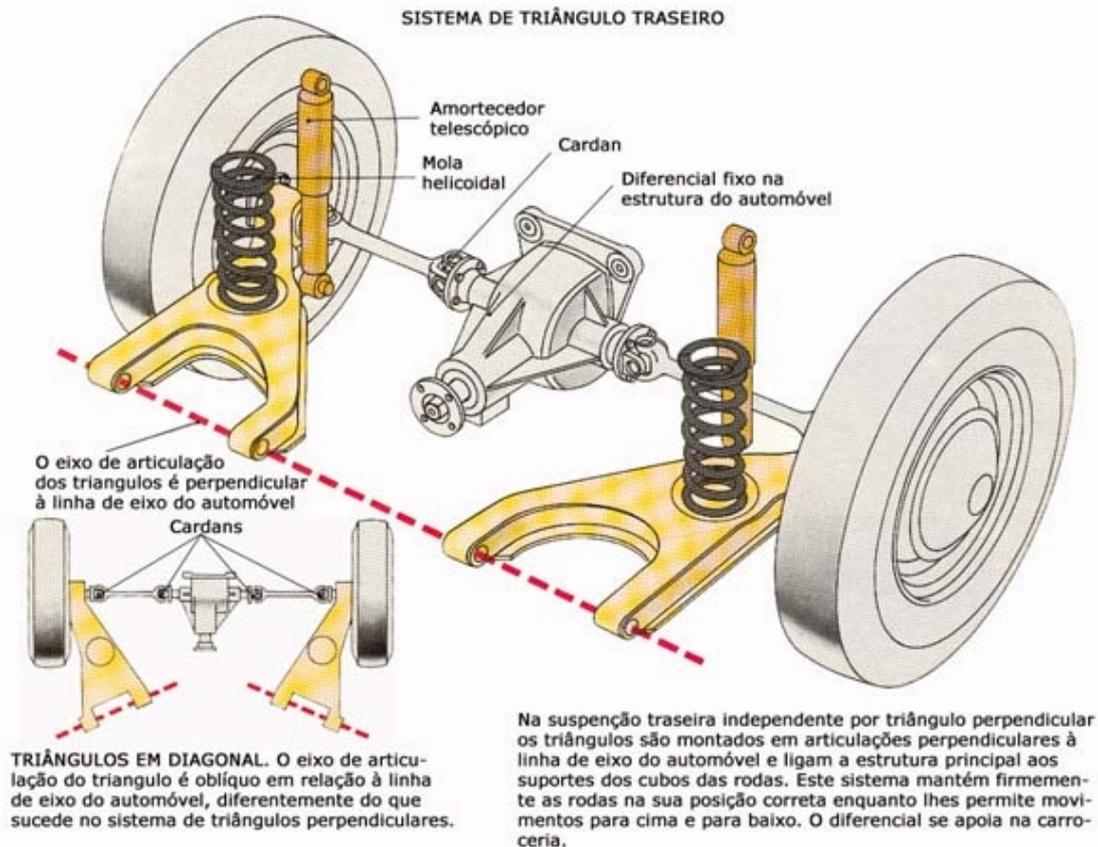
Na sua forma original, este sistema apresenta dois eixos tubulares articulados no cárter do diferencial, fixado à estrutura do automóvel. Em cada eixo está montado um cardan. A suspensão faz-se, em geral, por meio de uma mola de lâminas montada transversalmente em relação à linha de eixo do automóvel, aparafusada à parte central do chassi ou à bainha do diferencial e com as extremidades ligadas, por meio do brinco, aos eixos.

3.4.2.2 Suspensão Mac Pherson

É semelhante, em muitos aspectos, à suspensão Mac Pherson utilizada nas rodas da frente.

3.4.2.3 Triângulo traseiro perpendicular

Cada uma das rodas traseiras apóia-se num triângulo articulado à estrutura do automóvel. A articulação é perpendicular à linha de eixo do automóvel de tal modo que a roda sobe e desce, conforme as irregularidades do pavimento, sem qualquer alteração do seu alinhamento.



3.4.2.4 Triângulo traseiro diagonal

Neste sistema, amplamente utilizado, a linha de eixo de articulação, na qual o triângulo oscila, está montada de modo a formar um ângulo bastante acentuado com a linha de eixo do automóvel, o que permite projetar a roda com um ângulo pré determinado de variação, quer na cambagem, quer no alinhamento, para que esta suba e desça, conforme as irregularidades do pavimento.

3.4.2.5 Forquilha dupla

Difere do sistema do mesmo nome, utilizado na suspensão dianteira, no seguinte: como as rodas têm de manter-se direitas em vez de oscilarem, uma das forquilhas apresenta a sua base mais larga, mais próxima da roda e ainda um tirante para absorver os esforços resultantes da aceleração e da frenagem.

Este tipo de suspensão baseia-se no princípio fundamental de manter o paralelismo das rodas.

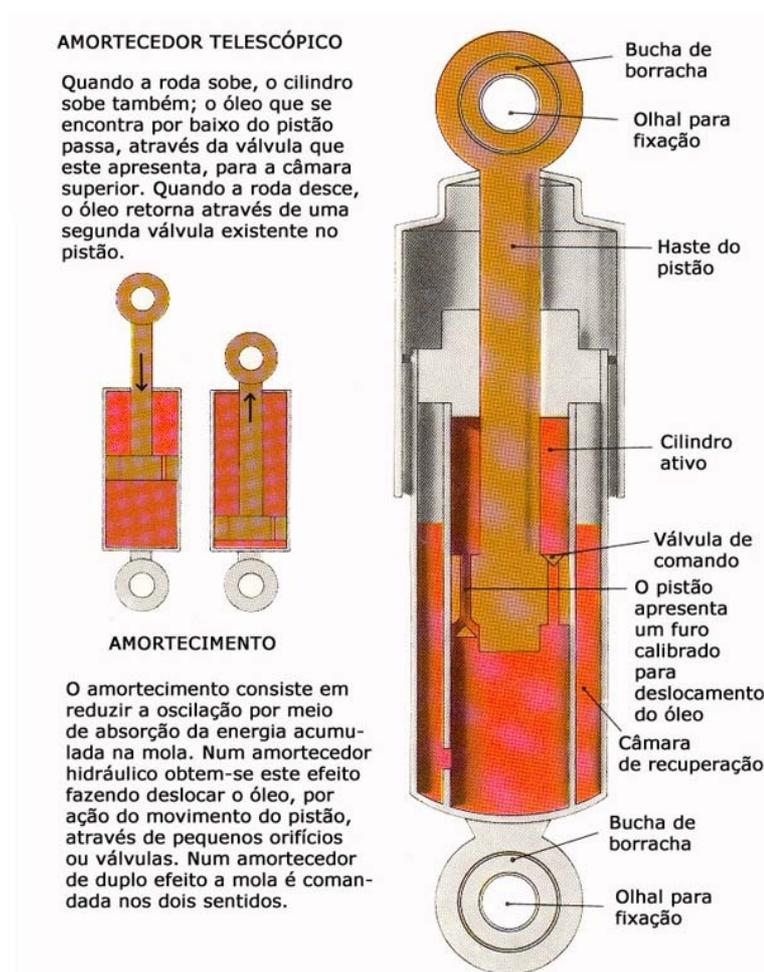
3.4.3 Amortecedores

Os amortecedores destinam-se a absorver ou amortecer as vibrações para que as molas não oscilem continuamente para cima e para baixo.

O segredo de uma boa suspensão reside na supressão da ressonância (acumulação de oscilações) nos vários componentes do sistema de suspensão, o qual inclui não só as molas, mas também os pneus e assentos.

Os primeiros amortecedores, que se baseavam no atrito de um ou vários discos, foram substituídos por amortecedores hidráulicos, nos quais o movimento de um pistão faz escoar o óleo através de pequenos orifícios que oferecem resistência à sua passagem.

O amortecedor telescópico é mais usado atualmente. Consiste essencialmente num cilindro que contém um pistão ligado a uma haste. A extremidade fechada do cilindro está à articulação ou ao eixo da roda, enquanto a extremidade exterior da haste, que passa através de um vedador existente no cilindro, está ligada à carroceria.



Válvulas reguladoras e canais de passagem comandam o fluxo de óleo, nos dois sentidos, através do pistão. O espaço acima do pistão é menor do que o espaço sob este. Assim, não consegue conter todo o óleo deslocado pelo pistão quando este se dirige para a extremidade inferior do cilindro. Uma válvula comanda a saída do excesso de óleo para um depósito ou câmara de recuperação, que envolve o cilindro.

À medida que o amortecedor se distende, como o pistão não desloca da seção superior do cilindro uma quantidade de óleo suficiente para encher a seção inferior, está cheia a partir do depósito

e através de uma válvula de enchimento. O amortecedor é hermético e mantém normalmente o depósito sob pressão.

Nestes amortecedores, o movimento da roda é transmitido a uma alavanca que faz mover o eixo do braço. Este eixo está ligado, no interior de um cilindro cheio de óleo, a um balancin que encaixa num pistão duplo. Qualquer movimento da roda, ascendente ou descendente, aciona o balancin que faz mover o pistão duplo. Quando este se desloca para um dos topos do cilindro, o óleo é impelido, passando através de uma válvula atingindo o outro topo, amortecendo assim a oscilação da mola.

3.4.4 Molas

Ao desempenhar a sua função primordial, que consiste em proteger a carroceria e os ocupantes de um automóvel contra os solavancos provocados pelas irregularidades do pavimento, as molas atuam como acumuladores de energia.

As molas de aço armazenam esta energia ao fletirem, como acontece com as molas de folhas, ou de lâminas ou serem torcidas, como acontece com as molas helicoidais ou com barras de torção. A energia liberta-se quando a mola volta à sua posição normal.

As molas de lâminas são geralmente referidas como semi-elípticas, embora o seu perfil seja, atualmente, quase plano.

As duas extremidades estão normalmente ligadas ao chassi ou à carroceria por pinos com buchas de borracha, sendo a parte central da mola fixada ao eixo. Se a mola for montada transversalmente em relação à carroceria, a parte central fica fixa ao chassi e as extremidades aos eixos das rodas. Numa mola, a forma circular é a mais indicada para acumulação de energia. Uma mola helicoidal armazena de modo mais eficaz a energia resultante do movimento ascendente e descendente. As suas extremidades são geralmente horizontais a fim de assentarem melhor sobre as superfícies através das quais se transmite o esforço. Estas extremidades planas atuam como alavanca que aplica a torção à parte restante da mola.

A barra de torção acumula energia quando é torcida. Uma das extremidades está fixa à carroceria, enquanto a outra está ligada a um elemento capaz de suportar o esforço. A barra de torção é frequentemente utilizada como estabilizador. Consiste numa barra de aço montada transversalmente à linha de eixo do automóvel em buchas de borracha e com as extremidades – ligadas à suspensão – dobradas de modo a atuarem como alavancas.

Quando as rodas do mesmo eixo sobem e descem simultaneamente, a barra de torção apenas roda nos seus apoios, sem exercer qualquer efeito no sistema de suspensão. Se apenas uma das rodas descer ou subir ou a carroceria se inclinar, numa curva, a barra é utilizada de diferentes formas na suspensão de um automóvel.

O sistema hidroelástico Moulton é um exemplo significativo. Neste sistema o elemento principal de suspensão é constituído por molas de borrachas. Embora se utilize líquido para transmitir o movimento das rodas da frente para trás ou vice – versa.

3.5 Geometria da direção

Para dirigir um automóvel recorre-se ao volante, que vira as rodas da frente na direção pretendida, seguindo as rodas de trás a trajetória daquelas.

Haveria várias desvantagens – a principal das quais seria a instabilidade – em orientar as rodas traseiras. Numa bicicleta, a direção é comandada pelo guidon. Num automóvel, contudo, o motorista não teria força suficiente para comandar as rodas da frente se estas estivessem diretamente ligadas ao volante. Assim, o sistema de direção inclui um mecanismo de redução e, às vezes, um dispositivo de assistência mecânica para multiplicar o esforço que o motorista aplica ao volante.

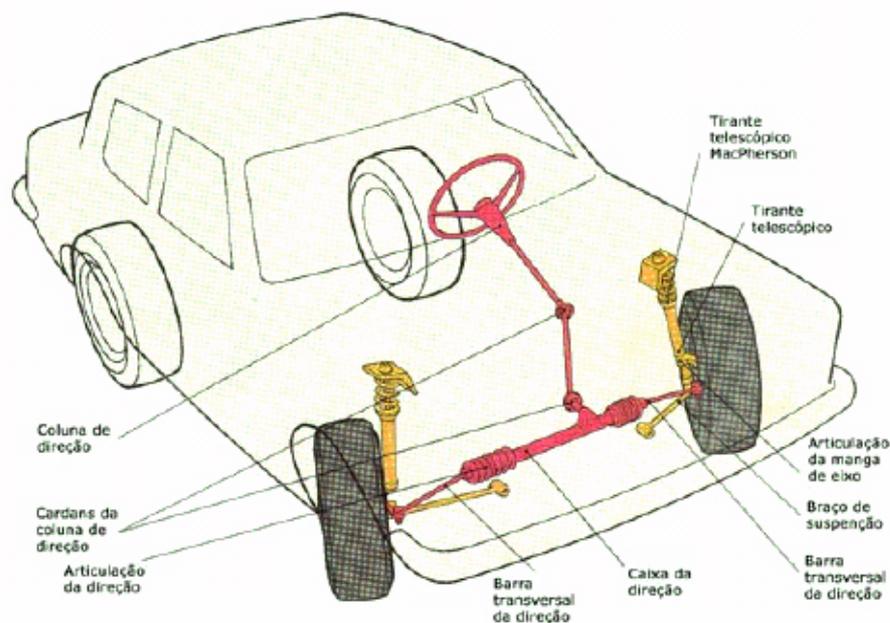


Figura 22: Esquema típico de uma direção de automóvel.

São requisitos fundamentais, em qualquer mecanismo de direção, a facilidade de manobra e a tendência das rodas da frente para se endireitarem após descreverem uma curva. A direção também não deve transmitir ao motorista os efeitos das irregularidades do pavimento, embora deva proporcionar-lhe uma certa sensibilidade a esses efeitos.

Na coluna de direção, que aloja o eixo da direção e serve de apoio a este, estão montados, às vezes, alguns comandos, tais como a alavanca das mudanças de marchas, os interruptores das luzes e o botão da buzina. O comutador dos faróis encontra-se, com freqüência, montado sob o volante, ficando o comando do pisca-pisca, por vezes, no lado oposto. Estes dois comandos podem também estar combinados numa só alavanca, bem como o comando do limpador do pára brisa que também nos carros modernos é montado junto ao volante.

Alguns automóveis apresentam uma coluna de direção ajustável. A parte superior, onde se encontra o volante, pode ser deslocada telescopicamente para cima e para baixo e, em alguns casos, pode ser inclinada para se adaptar à estrutura e posição do motorista.



Figura 23: Esquemas de direções seguras em casos de colisão frontal.

A coluna da direção pode ser construída de modo a ceder ou dobrar em caso de colisão. Por exemplo, no sistema AC Delco a coluna tubular é constituída por uma rede metálica que, apesar de resistir à torção, cede e absorve energia quando comprimida longitudinalmente. O eixo da direção apresenta uma união telescópica.

Em outro sistema o eixo está dividido em seções, ligadas entre si por cardans, cujo eixo geométrico não é comum.

Os eixos dianteiros de seção perfilada dos automóveis antigos possuíam pinos nos quais giravam as mangas de eixo para dirigir as rodas. Alguns dos primeiros sistemas de suspensão independente possuíam ainda um pino mestre da manga de eixo entre as forquilhas que servia de apoio ao elemento giratório.

Em muitos casos, o sistema rotativo por pino mestre da manga de eixo substituído por um par de rótulas ou pivôs entre as quais se encontra o elemento giratório.

3.5.1 Sistemas

Um automóvel é dirigido por meio de um sistema de redução e de um sistema articulado – composto por hastes e alavancas – que se destinam a permitir o comando da direção com um mínimo de esforço.

O eixo está ligado ao sistema de redução (caixa da direção), que transforma o movimento rotativo do volante num movimento alternativo do sistema articulado da direção, o que ajuda o motorista a dirigir as rodas sem empregar demasiado esforço. Ao longo dos anos foram utilizados vários tipos de caixa de direção, incluindo os designados por direção de sem fim e rolete e de sem fim e porca, com esferas circulantes.

Atualmente, contudo, os automóveis utilizam, em geral, um sistema de pinhão e cremalheira. Neste sistema uma cremalheira é movida por um pequeno pinhão existente na extremidade inferior do eixo da direção. Quando se roda o volante, a cremalheira move-se lateralmente e faz rodar as mangas de eixo (dois eixos curtos nos quais estão montadas as rodas da frente).

Nos sistemas mais antigos, a caixa da direção apresentava uma alavanca curta designada por pendural e que acionava a parte restante do sistema articulado.

A caixa de direção reduz o esforço do motorista. O grau de redução do esforço – ou efeito de alavanca – que a caixa de direção torna possível depende do peso e do tipo de automóvel. Um automóvel esportivo leve exige uma redução pequena, já que o motorista necessita de um comando rápido para corrigir as derrapagens. Porém, um automóvel pesado, com pneus largos, exige uma redução elevada e/ou alguma forma de assistência mecânica para fazer uma curva a baixa velocidade.

A caixa de direção e o sistema articulado também transferem a reação das rodas ao pavimento para o volante. Esta reação permite ao motorista ter um conhecimento imediato das condições do pavimento.

Alguns mecanismos são eficientes na transmissão do esforço do motorista para as rodas não sendo, contudo, tão eficazes quanto à transmissão ao motorista de informações sobre possíveis irregularidades do pavimento.

A aderência dos pneus ao pavimento permite ao motorista comandar o veículo a fazer uma curva. Este desvia-se da trajetória retilínea devido às forças laterais aplicadas aos pneus quando o motorista roda o volante. Como o pneu é flexível e elástico a sua trajetória, numa curva, afasta-se ligeiramente da direção para qual está apontada a roda. O ângulo deste desvio depende da velocidade do automóvel e da natureza da curva.

A baixa velocidade e em curvas suaves, o ângulo será pequeno; quando o automóvel faz curvas fechadas em alta velocidade, o ângulo poderá ser tão acentuado que pode provocar a derrapagem do

pneu. Este ângulo também depende do tipo de pneu utilizado, da sua pressão, da carga suportada por cada pneu, da cambagem das rodas e de outros fatores, tais como as condições do pavimento.

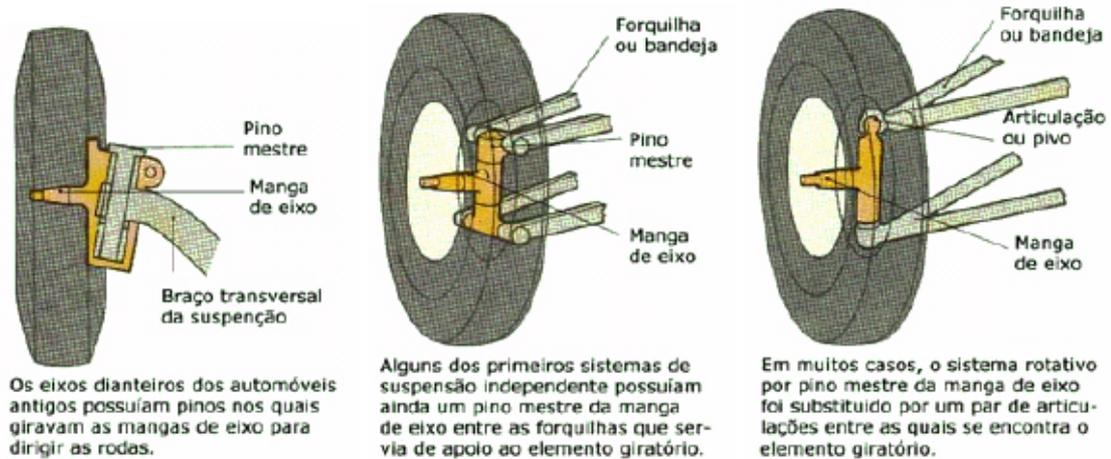


Figura 24: Tipos de fixação da roda no restante da suspensão.

Quando o ângulo de deslizamento é maior nas rodas dianteiras do que nas traseiras, o automóvel tende a descrever uma trajetória mais aberta, que o motorista deve corrigir rodando mais o volante. Neste caso, diz-se que o automóvel sobesterça. Quando, pelo contrário, o ângulo é maior nas rodas traseiras do que nas dianteiras, é necessário um menor movimento inicial do volante, já que o automóvel responde prontamente aos comandos deste. Neste caso, diz-se que o automóvel sobresterça.

Os automóveis são normalmente planejados para uma sobesterçagem moderada em condições normais de condução. O seu comportamento porém leva, com frequência, a uma posição neutra e, posteriormente, a uma sobrestargem se a velocidade, ao fazer a curva, aumentar progressivamente. Uma busca transição da sobesterçagem para sobresterçagem pode tornar perigosa a condução.

Os automóveis de tração dianteira (e os de competição com tração traseira) são também sensíveis à forma como o motorista utiliza o acelerador, pois esta afeta o referido ângulo. O ângulo de deslizamento ocorre também quando o automóvel, embora conduzido numa reta, está sujeito, como acontece frequentemente, às forças laterais, como sejam rajadas de vento e inclinação lateral da faixa de rodagem. Nestas circunstâncias, mantém-se estável o automóvel que, pelas suas características, tenha tendência para sobesterçar. Quando o automóvel tender para a sobresterçagem, o motorista terá de corrigir continuamente a direção. Quanto maior for a velocidade, menos tempo haverá para corrigir a direção.

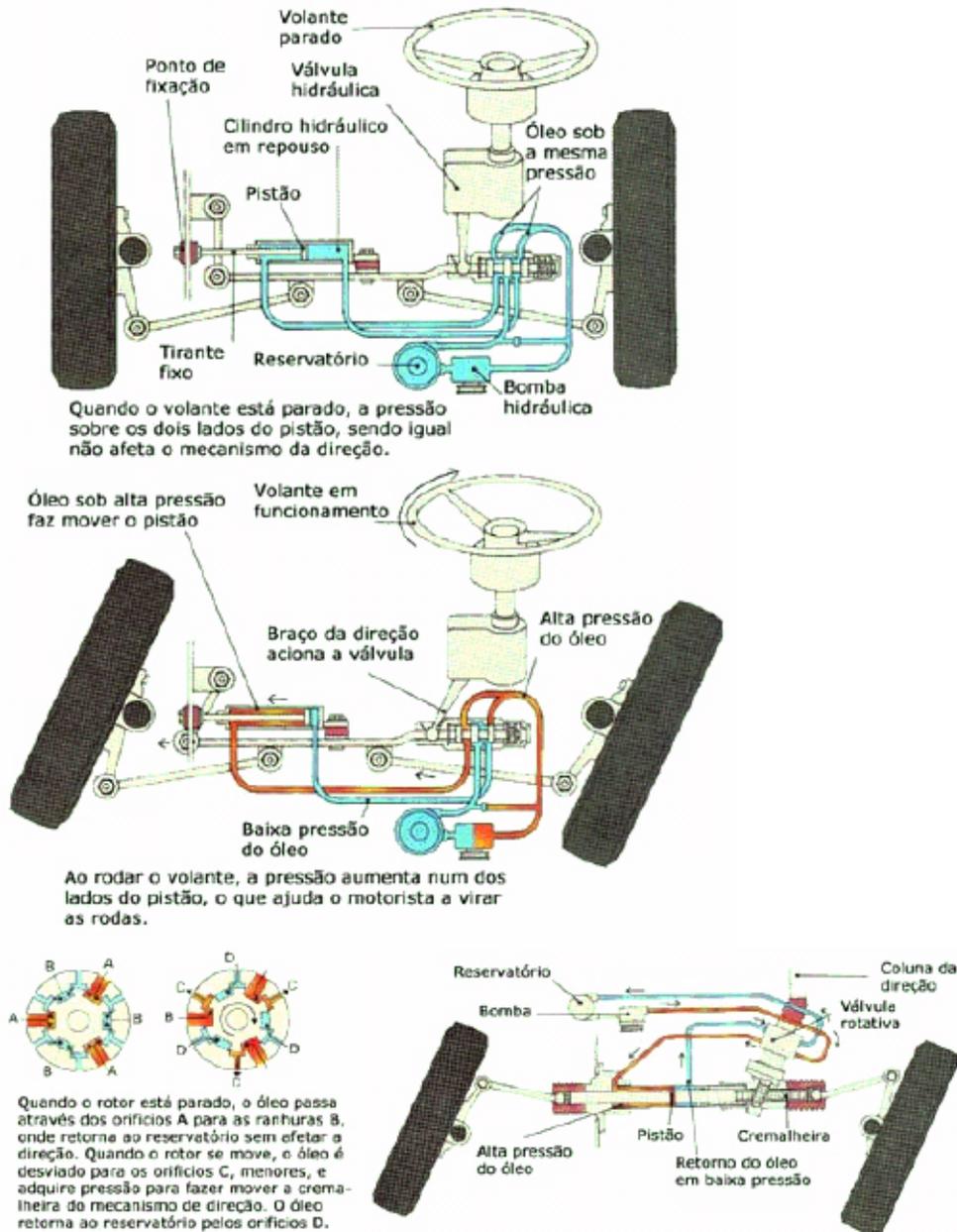
3.5.1.1 Direção hidráulica

Numerosos automóveis de varias dimensões apresentam direção hidráulica como equipamento de série. A direção assistida reduz o esforço necessário para mover o volante e facilita as manobras a baixa velocidade como, por exemplo, o estacionamento num espaço reduzido.

A direção hidráulica também contribui para a segurança, com a direção convencional, o motorista pode perder o domínio do volante se um pneu estourar ou se uma roda tiver de enfrentar uma pronunciada irregularidade do pavimento.

Na maioria dos sistemas utiliza-se um fluido hidráulico ou um óleo leve, fornecido sob pressão, por uma bomba acionada pelo motor e proveniente de um depósito independente. Em caso de avaria

no sistema, o automóvel pode continuar a ser dirigido manualmente. Quando o sistema de direção esta em repouso, isto é, quando não é solicitado o seu funcionamento, o óleo passa através de dois orifícios de iguais dimensões, aplicando assim uma pressão igual aos dois lados de um pistão, contido num cilindro, ligado ao mecanismo de direção. Ao mover-se o volante, aciona-se uma válvula de distribuição que abre um dos orifícios e fecha o outro.



O óleo exerce então pressão sobre apenas um dos lados do pistão, o que leva o mecanismo da direção a orientar as rodas na direção desejada. A pressão aplicada ao pistão depende da força que o motorista aplica ao volante. São componentes principais do sistema, a bomba que fornece o óleo, acionada por uma ligação direta ao alternador ou por uma correia trapezoidal; as válvulas sensíveis acionadas pelo movimento do volante ou pela deflexão das rodas; o conjunto do cilindro e do pistão e os tubos e mangueras de ligação.

No sistema Adwest (com pinhão e cremalheira) de direção servo assistida, a pressão hidráulica é comandada e dirigida por uma válvula rotativa. Ao rodar-se o volante, a coluna da direção faz girar

esta válvula de comando, dirigindo a pressão hidráulica para um ou outro dos lados do pistão acoplado a própria cremalheira. A pressão faz mover então a cremalheira para a direita ou para esquerda, aumentando assim o esforço que o motorista aplica o volante.

Graças a uma barra de torção que liga a coluna de direção à válvula, a assistência fornecida é proporcional à resistência oferecida pelos pneus à mudança de direção.

3.5.1.2 Bomba hidráulica

Os reservatórios de óleo hidráulico podem ser remotos ou acoplados a bomba. Os reservatórios remotos por ficarem afastados da bomba, necessitam de mangueira de alimentação.

Caixa de direção

Caixa de Direção hidráulica, pinhão e cremalheira com braços axiais acoplados nas extremidades da cremalheira.

Caixa de direção hidráulica, pinhão e cremalheira com braços de direção acoplados no centro da cremalheira.

Caixa de direção hidráulica, pinhão e cremalheira com braços de direção acoplados na extremidade da cremalheira.

Caixa de direção hidráulica, integral (setor e sem fim).

3.6 Eixos dianteiros e traseiros

4 Dimensionamento de Estruturas Veiculares

4.1 Esforços nos componentes

Em problemas relacionados a estruturas, as tensões geradas por um determinado carregamento são os parâmetros básicos para o dimensionamento dos componentes dessa estrutura. No entanto, a determinação das tensões não é objetivo final. Constitui-se em um passo intermediário no desenvolvimento de dois dos mais importantes estudos:

1. a análise de estruturas existentes, com a finalidade de prever seu comportamento sob a ação de cargas específicas; e
2. o projeto de novas estruturas, com o objetivo de garantir que irão cumprir suas funções de forma segura e econômica.

A tensão utilizada para o projeto é a Tensão Última do material que é definida segundo a equação a seguir:

$$CS = \frac{\sigma_{ult}}{\sigma_{adm}}$$

Um elemento estrutural deve ser projetado de forma que a carga última seja significativamente maior que o carregamento que esse elemento irá ser submetido em condições normais de operação. Esse carregamento menor é chamado de *carregamento admissível* ou *carga de utilização* ou *carga de projeto*.

Assim, quando se aplica o carregamento admissível, apenas uma parte da capacidade de resistência estrutural do material está sendo utilizada. A outra parte está sendo reservada para garantir condições seguras de utilização do material e da estrutura. A relação entre a tensão última e a tensão admissível é conhecida como coeficiente de segurança.

4.1.1 Critérios para projetos de vigas prismáticas

Em uma viga submetida à flexão pura, a seção crítica é aquela em que ocorre o maior momento fletor. Atribuindo uma tensão admissível, pode-se determinar o módulo de seção de tal viga, usando a Eq. $S = M / \sigma_{max}$, em que S é o módulo de seção, M corresponde ao momento fletor. Se o módulo de seção necessário é conhecido, pode ser selecionada uma viga de proporções corretas para ter a resistência adequada. Entretanto, se a viga resiste ao cisalhamento em adição à flexão, seu projeto torna-se ligeiramente mais complicado.

O projeto de uma viga prismática sujeita a esforço cortante, baseado na máxima tensão normal, seria governado pelas tensões nas fibras extremas porque nenhuma outra tensão excederia seu valor. Para uma viga prismática, essas tensões dependem apenas da magnitude do momento fletor e são maiores em uma seção onde ocorre o máximo momento fletor. Dessa forma, no projeto ordinário não é necessário efetuar análise de tensão combinada para os pontos interiores.

Regra básica para o projeto de vigas: uma seção crítica para uma viga prismática, suportando forças transversais normais ao seu eixo, ocorre no ponto em que o momento fletor atinge o seu máximo valor absoluto.

Este critério para projeto de vigas prismáticas, no entanto, não é completo. Em alguns casos, as tensões de cisalhamento provocadas pelo cisalhamento em uma seção podem controlar o projeto. Seria o caso, por exemplo, para pequenos comprimentos de vigas, em que as forças aplicadas e as reações têm pequenos braços de momento, e os momentos fletores resistentes necessários são pequenos. Por outro lado, as tensões de cisalhamento podem ser grandes se as forças aplicadas forem grandes.

4.1.2 Exemplo de projeto de viga prismática

Seja o carregamento e as condições de apoio apresentadas na Figura 26.

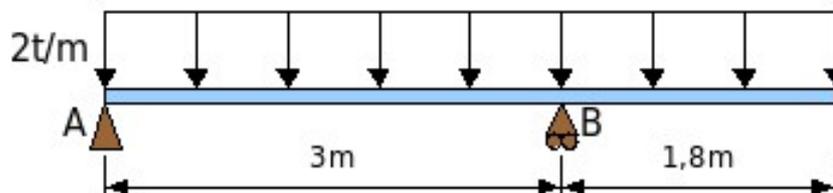


Figura 26: Viga prismática com carregamento distribuído.

Supondo que a viga da Fig. 26 encontra-se em equilíbrio, as reações nos apoios A e B podem ser calculadas e correspondem, respectivamente, a $R_A = 1,92$ t e $R_B = 7,68$ t.

O cálculo do esforço cortante e momento fletor é feito para duas partes da viga. A primeira vai do apoio A até o ponto B ($0 \leq x \leq 3$). A segunda corresponde à região do apoio B até a ponta em balanço ($3 \leq x \leq 4,8$).

Para $0 \leq x \leq 3$:

$$V(x) = 2000x - 1920$$
$$M(x) = -1000x^2 + 1920x$$

Para $3 \leq x \leq 4,8$:

$$V(x) = 2000x - 9600$$
$$M(x) = -1000x^2 + 9600x - 23040$$

Verifica-se que o maior momento fletor ocorre na seção correspondente a $x = 3$ m e equivale a

$$M = -3240 \text{ kgf.m.}$$

Supondo, agora, que deseja-se utilizar uma viga de aço de alma e flange para suportar a carga dada e que a tensão de tração admissível é de $16,8 \text{ kgf/mm}^2$ e a tensão de cisalhamento admissível é de $10,2 \text{ kgf/mm}^2$:

$$S = \frac{3240000}{16,8} = 192857 \text{ mm}^3$$

A variável S representa o módulo de seção da viga e estes parâmetros são tabelados. Consultando uma dessas tabelas (na Ref. 1, por exemplo), percebe-se que algumas vigas poderiam atender ao módulo de seção mínimo requerido. Pode-se utilizar uma viga de aço em I padronizada com $S = 231058 \text{ mm}^3$ (seção 8 WF 17). Esta viga possui uma alma de altura $203,2 \text{ mm}$ e espessura $5,8 \text{ mm}$ e uma flange larga de largura $133,4 \text{ mm}$ e espessura $7,8 \text{ mm}$.

Resta verificar se a viga selecionada resiste aos esforços cortantes. O máximo esforço cortante na viga equivale a $V = 4080 \text{ kgf}$. Assim, a máxima tensão de cisalhamento pode ser calculada como:

$$(\tau_{max})_{aprox} = \frac{V}{A_{alma}} = \frac{4080}{(5,8)203,2} = 3,46 \text{ kgf/mm}^2$$

Percebe-se, então, que a tensão de cisalhamento na viga selecionada fica abaixo da tensão de cisalhamento admissível para o material, que é de $10,2 \text{ kgf/mm}^2$. Assim, a viga selecionada satisfaz aos critérios de resistir aos esforços associados à flexão e ao cisalhamento.

4.2 Aerodinâmica nas carrocerias veiculares

A aerodinâmica de veículos automotores adquiriu especial importância principalmente após a crise do petróleo durante a década de 1970. Até então, o estudo da aerodinâmica de automóveis ficava relegado quase que exclusivamente aos carros de corrida.

A Aerodinâmica é o ramo da Ciência que estuda a interação entre os corpos e os fluidos em movimento. Esta interação entre fluido e corpo provoca o surgimento de distribuições de pressão e de tensão de cisalhamento sobre a superfície do corpo.

As distribuições de pressão e tensão de cisalhamento podem ser integradas ao longo da superfície do corpo e substituídas por uma força e um momento resultantes. Esta força e este momento, por sua vez, podem ser decompostos em componentes na direção do vento (direção do movimento do veículo), na direção vertical e na direção lateral.

A componente na direção do vento é chamada de força de arrasto e simbolizada pela letra X . A componente na direção vertical é chamada de sustentação e representada por Z . A da direção lateral é a força lateral, simbolizada por Y .

Com a finalidade de trabalhar com grandezas adimensionais, foi definido o coeficiente da força de arrasto:

$$C_x = \frac{X}{\frac{1}{2} \rho V^2 S_f}$$

em que ρ representa a densidade do ar, V a velocidade de deslocamento do automóvel e S_f a área frontal do veículo. Similarmente, os coeficientes das outras forças seguem o mesmo padrão de definição.

As forças e momentos atuantes em um veículo encontram-se esquematizadas na Fig. 27. Os nomes e símbolos atribuídos às forças já foram comentados. Quanto aos momentos, estes também encontram-se representados na Fig. 27.

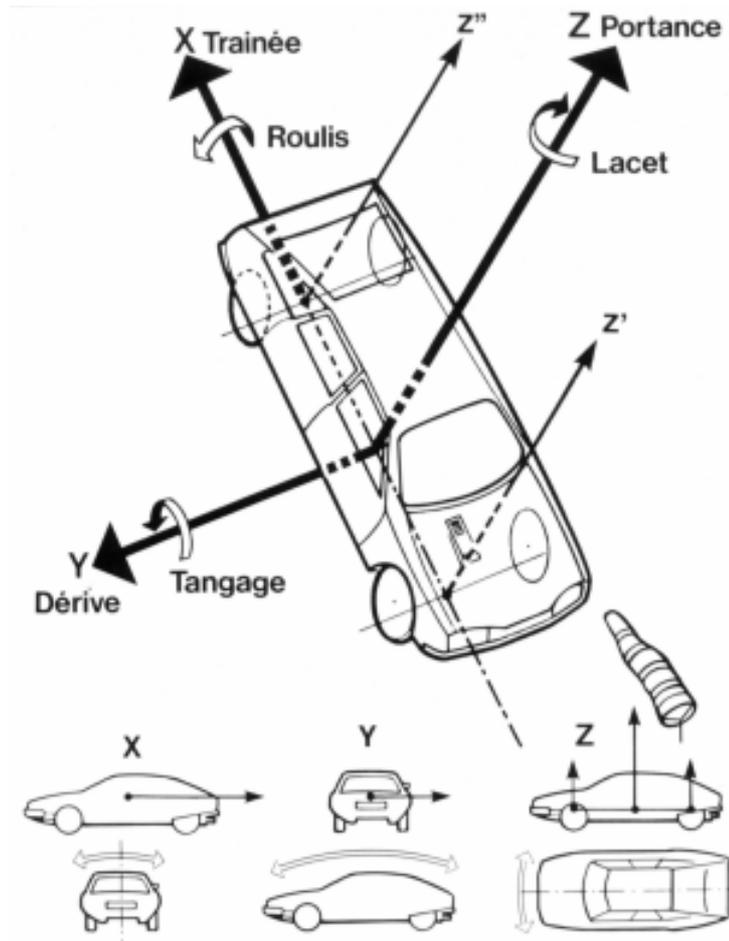


Figura 27: Forças e momentos atuantes em um automóvel.

O quadro a seguir apresenta uma síntese da forma como as forças e momentos aerodinâmicos podem ser obtidos por intermédio de seus coeficientes. Os momentos aerodinâmicos necessitam de um comprimento de referência designado pela variável E . Este comprimento de referência pode ser, por exemplo, o comprimento do automóvel ou a distância entre eixos ou a bitola do veículo.

FORCES	MOMENTS
Drag $F_x = \frac{1}{2} \rho C_x S V^2$	Roll $C_l = \frac{1}{2} \rho C_l S E V^2$
Drift $F_y = \frac{1}{2} \rho C_y S V^2$	Pitch $C_m = \frac{1}{2} \rho C_m S E V^2$
Lift $F_z = \frac{1}{2} \rho C_z S V^2$	Yaw $C_n = \frac{1}{2} \rho C_n S E V^2$

A determinação dos valores dos coeficientes aerodinâmicos pode ser feito de duas formas diferentes. A primeira é a determinação por meio de ensaios e de medidas experimentais. A segunda é a avaliação por meio de cálculos teóricos.

Os cálculos teóricos são feitos, atualmente, com o auxílio de ferramentas numéricas. É comum, hoje em dia, a aplicação de uma técnica conhecida como “Computational Fluid Dynamics” (CFD) para a determinação de coeficientes aerodinâmicos de veículos automotores.

Valores típicos de C_x para veículos terrestres encontram-se discriminados a seguir:

Automóvel	C_x
Carros de Fórmula 1	0,7 a 1,1
Hummer H2 - 2003	0,57
Citroën 2CV - 1948	0,51
Ford Mustang - 1979	0,44
Honda Civic - 2006	0,31
Peugeot 308 - 2007	0,29
Toyota Prius - 2010	0,25

Os ensaios para a medição dos coeficientes aerodinâmicos são realizados em Túneis de Vento tais como este da Fig. 28.

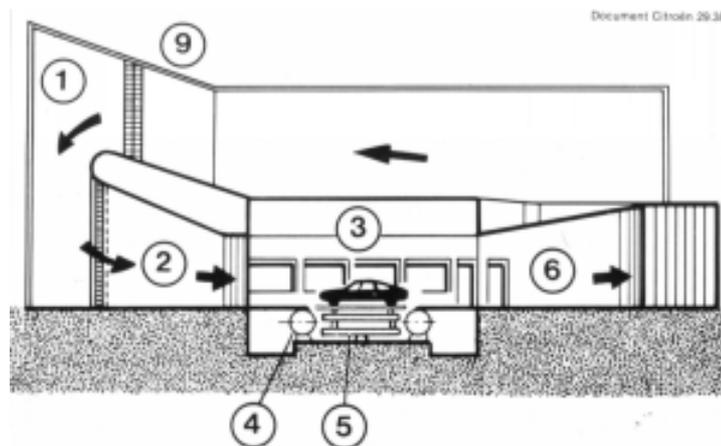


Figura 28: Desenho esquemático de um Túnel de Vento.

É interessante reparar que na seção de ensaio o piso é feito de forma a simular o veículo se deslocando sobre a superfície do terreno. Esta simulação é importante para que o aparato experimental seja o mais fiel possível à realidade e, conseqüentemente, o resultado do ensaio.

A visualização de características aerodinâmicas é outro aspecto importante dos ensaios em túnel. Como exemplo de mecanismos de visualização, pode-se citar o tufo de lã e a linha de fumaça mostradas na Fig. 29.



Figura 29: Mecanismos para visualização do escoamento.

Pour rouler à 120 km/h	Il faut:	ch	$C_x S$
	B2 (1921)	75	1,437
	TRACTION (1934)	56	1,230
	DS (1956)	48	0,817
	GSA X3 (1980)	31	0,575

Para a correta determinação dos coeficientes aerodinâmicos de um veículo por meio de um túnel de vento, é necessária a determinação da velocidade do escoamento na região da seção de ensaios. Esta determinação é feita com o auxílio de uma ferramenta chamada de “Tubo de Pitot”, que é colocada na seção de ensaios, um pouco antes da posição ocupada pelo modelo do veículo.

O “Tubo de Pitot” é um equipamento que obtém a diferença de pressão entre dois orifícios posicionados no seu corpo, de tal forma que um dos orifícios obtém a pressão associada ao escoamento não-perturbado e o outro obtém a pressão do escoamento estagnado, ou seja, a uma velocidade nula. Assim, a velocidade do escoamento não-perturbado, ou seja, a velocidade do escoamento no início da seção de ensaios, é dada pela equação apresentada a seguir:

$$V_{\infty} = \sqrt{\frac{2(\rho_0 - \rho_{\infty})}{\rho}}$$

onde $(\rho_0 - \rho_{\infty})$ corresponde à diferença de pressão medida pelo “Tubo de Pitot” e ρ é a densidade do ar no interior do túnel de vento.

Uma das utilidades do conhecimento do coeficiente de arrasto é a possibilidade de previsão da potência requerida para manter uma certa velocidade do automóvel. Supondo que o veículo trafega a uma velocidade constante, pode-se escrever que a tração das rodas sobre o asfalto é equilibrada pela força de resistência do ar. Assim, a potência disponibilizada nas rodas do automóvel é a suficiente para equilibrar a potência requerida para vencer a resistência aerodinâmica.

$$P_r = X V = \frac{1}{2} \rho V^3 S_f C_x$$

A potência disponibilizada nas rodas representa uma fração da potência produzida no motor devido às perdas na transmissão. Assim, pode-se escrever:

$$\eta P_m = \frac{1}{2} \rho V^3 S_f C_x$$

em que a η representa eficiência da transmissão do veículo.

Assim, a potência necessária para manter a velocidade V é:

$$P_m = \frac{1}{2\eta} \rho V^3 S_f C_x$$

O consumo de combustível do automóvel é função da potência necessária para manter uma dada velocidade. Assim, a redução do consumo de combustível passa pela redução dos parâmetros constantes da equação anterior. Deles, os mais significativos são V e o C_x e η , a eficiência da transmissão.

Cabe observar que o consumo de combustível é diretamente proporcional ao coeficiente de arrasto e ao cubo da velocidade. É importante, pois, atuar no sentido de diminuir o C_x do automóvel pois é este o parâmetro que relaciona-se diretamente à eficiência aerodinâmica do veículo.

Outro parâmetro que pode ser trabalhado na fase de projeto do veículo, assim como o C_x , é a eficiência da transmissão. Quanto maior for este parâmetro, melhor o consumo de combustível.

Aos motoristas, vale a lembrança de que qualquer diminuição na velocidade reduz significativamente o consumo de combustível, visto que a potência requerida varia com o cubo da velocidade.

4.2.1 Fatores que afetam o coeficiente de arrasto

O coeficiente de arrasto, assim como os demais coeficientes aerodinâmicos, depende fortemente da forma do veículo que se desloca pelo ar. Assim, a geometria do veículo torna-se um parâmetro importante para a avaliação dos seus coeficientes aerodinâmicos, bem como para a melhoria do seu valor (redução, no caso do coeficiente de arrasto).

Uma das fontes de aumento do coeficiente de arrasto é o descolamento do escoamento. Quando há uma variação brusca na inclinação da superfície do veículo, o escoamento de ar tende a descolar-se da superfície do corpo na região desta variação.

Outra fonte de arrasto é a presença de protuberâncias e imperfeições na superfície do veículo. Estas protuberâncias e imperfeições também causam descolamentos e aumento da área de atrito entre o escoamento e o corpo do veículo.

Os parâmetros que mais afetam o coeficiente de arrasto são:

- acabamento da superfície do veículo;
- inclinação do pára-brisa;
- profundidade dos vidros das portas e janelas;
- rodas e pneus descobertos;
- carenagem dos retrovisores;
- protuberâncias na superfície do veículo; e
- Características da parte traseira do veículo.

4.3 Vibrações nos componentes

Vários elementos estruturais de um automóvel estão sujeitos a vibrações. O movimento de rotação do eixo do motor, da transmissão e das rodas é um dos possíveis geradores de vibrações na estrutura veicular. Qualquer desbalanceamento nos componentes que encontram-se em movimento rotativo gera vibrações.

Um exemplo típico de vibração provocada no veículo é o desbalanceamento das rodas. É procedimento comum o balanceamento das rodas pois, do contrário, as vibrações são transmitidas a outras partes do automóvel, incluindo o volante, causando desconforto e outros problemas na estrutura.

As imperfeições na pista sobre a qual o veículo trafega também são causas de vibração na estrutura e outros componentes do automóvel. A suspensão é, assim, um dos componentes mais

importantes do veículo no aspecto relacionado a vibrações.

Uma vibração qualquer do veículo pode ser decomposta numa soma de oscilações de caráter senoidal, ou seja, cujo deslocamento pode ser modelado por uma função seno ou cosseno. Este movimento senoidal é chamado de Movimento Harmônico Simples (MHS).

4.3.1 Movimento Harmônico Simples

A força exercida por uma mola é proporcional ao seu deslocamento. Assim, se o deslocamento da mola for chamado de y , pode-se escrever que a força é $F_m = k y$ em que k é a constante da mola.

Um sistema massa-mola pode ser, então, modelado por meio da equação abaixo, obtida por meio da Segunda Lei de Newton:

$$m \frac{d^2 y}{dt^2} + k y = 0$$

A solução desta equação é:

$$y(t) = A \cos(\omega_n t + \phi)$$

em que A é a amplitude, ω_n é a frequência natural e ϕ a fase do movimento. A frequência natural do movimento, por sua vez, é dada por:

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

Uma suspensão possui, além da mola e de sua própria massa, um amortecedor. A força gerada em um amortecedor é proporcional à velocidade do seu deslocamento $F_v = C dy/dt$ e, assim, a aplicação da Segunda Lei de Newton para um sistema massa-mola-amortecedor obtém:

$$m \frac{d^2 y}{dt^2} + C \frac{dy}{dt} + k y = 0$$

Conhecendo a solução para um sistema massa-mola, a equação anterior pode ser reescrita da seguinte forma:

$$\frac{d^2 y}{dt^2} + 2\zeta \omega_n \frac{dy}{dt} + \omega_n^2 y = 0$$

na qual $C/m = 2\zeta \omega_n$ e $k/m = \omega_n^2$.

A solução da equação anterior é:

$$y(t) = A e^{-\zeta \omega_n t} \cos(\omega_d t)$$

em que $\omega_d = \omega_n \sqrt{1 - \zeta^2}$.

A solução do sistema massa-mola-amortecedor mostra que a amplitude do movimento A está multiplicada por um termo exponencial negativo que é função do amortecimento. Assim, conclui-se que o amortecedor é responsável por reduzir a amplitude do movimento a partir do momento em que se impôs uma deflexão na suspensão do veículo.

A estrutura do automóvel, como um todo, pode se comportar como um sistema massa-mola-amortecedor. Sabe-se que, para deformações elásticas, a estrutura é defletida e retorna à sua forma original, da mesma forma que uma mola. Assim, a rigidez da estrutura desempenha o mesmo papel da constante da mola k . De forma semelhante, existe uma atenuação gradual de movimentos oscilatórios da estrutura. Assim, uma estrutura veicular possui um amortecimento natural que faz o papel de C .

4.4 Critérios de dimensionamento

A determinação de tensões não teria sentido sem os ensaios de materiais realizados em laboratório. Estes testes fornecem as características dos materiais, em termos de tensões. Usualmente, os ensaios são realizados em barras (cilíndricas ou não) submetidas a tensão que cresce até a ruptura do material.

A força necessária para causar a ruptura é chamada de *Carga de Ruptura*. Dividindo-se esta força pela área da seção transversal do espécime de ensaio, obtém-se a *Resistência à Ruptura* (tensão) de um material. O ensaio de tração do material é o mais empregado. No entanto, também são empregados os ensaios de compressão, flexão, torção e cisalhamento.

Para projeto de membros estruturais, o nível de tensão denominado por *Tensão Admissível* é fixado em um valor significativamente menor que a resistência à ruptura encontrada no ensaio estático. Este é um procedimento necessário por diversas razões:

- as magnitudes exatas das forças que podem agir na estrutura desejada raramente são conhecidas com precisão;
- os materiais não são inteiramente uniformes;
- alguns materiais esticam muito antes da ruptura, assim, para baixas deformações, as tensões devem ser mantidas baixas;
- alguns materiais corroem seriamente;
- outros entram em regime plástico com certas cargas, fenômeno este chamado de *escorregamento*; e
- em um lapso de tempo podem ocorrer grandes deformações que não são toleráveis.

Em decorrência destas razões, a tensão admissível para o projeto de uma estrutura é definida em função de um *Fator de Segurança* definido como:

$$FS = \frac{\sigma_{rup}}{\sigma_{adm}}$$

Este fator de segurança deve ser sempre maior que a unidade e é idêntico, para membros em tração, à carga de ruptura sobre a carga admissível. No entanto, para membros sujeitos a maiores complexidades, deveria ser utilizada a relação entre as cargas. Isso se deve ao fato de que, para membros mais complexos, a tensão pode não variar linearmente com a carga aplicada.

Para aplicações em que a força varia com o tempo, obedecendo a um certo ciclo, os materiais não podem suportar a tensão de ruptura determinada em um ensaio estático. Neste caso específico, a resistência à ruptura depende do número de vezes que a força é aplicada, quando o material trabalha em um nível de tensão particular.

Existem ensaios específicos para se determinar a resistência do material quando submetido a esforços cíclicos. Os experimentos são realizados para se determinar o número de ciclos necessários para romper o corpo de provas a uma tensão específica, quando submetido a uma carga flutuante. Tais ensaios são chamados de *Testes de Fadiga* e as curvas obtidas são denominadas de diagramas *S-N* (tensão-número de ciclos).

A Figura 31 apresenta um resultado de teste de fadiga para aços. Como pode ser observado, para tensões menores, o material pode suportar um número crescente de ciclos de aplicação de carga. Para alguns materiais, em especial os aços, a curva *S-N* para baixas tensões fica praticamente horizontal. Isto significa que abaixo de uma determinada tensão, o material pode ser submetido a um número muito grande de ciclos antes que ocorra uma fratura. Este tipo de material é aquele que apresenta um *Limite de Fadiga*.

O *Limite de Fadiga* é a maior tensão *S* aplicada de forma cíclica para a qual o material não rompe por fadiga. Alguns materiais não apresentam tal limite como, por exemplo, o alumínio. Isto torna estes materiais impróprios para a aplicação em certas estruturas tal como a suspensão.

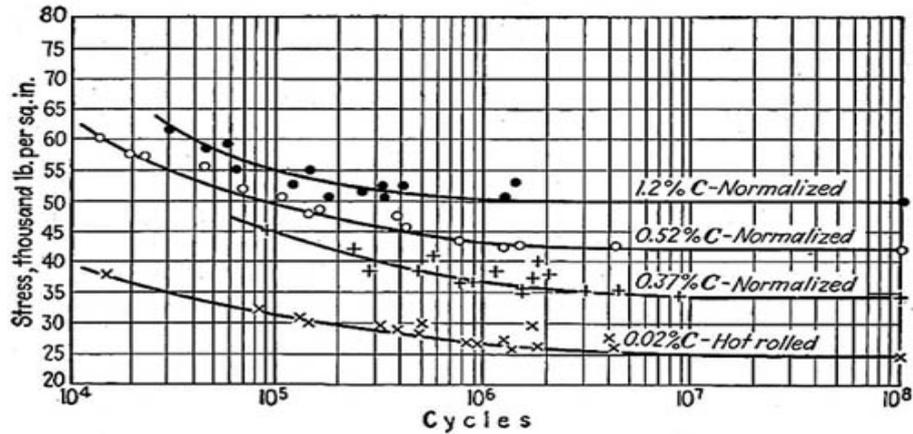


Figura 31: Resistência à fadiga de aços.

Uma comparação entre diagramas S-N para o aço e o alumínio é fornecida na Fig. 32. Nota-se que a curva relativa ao alumínio não apresenta o patamar correspondente ao limite de fadiga.

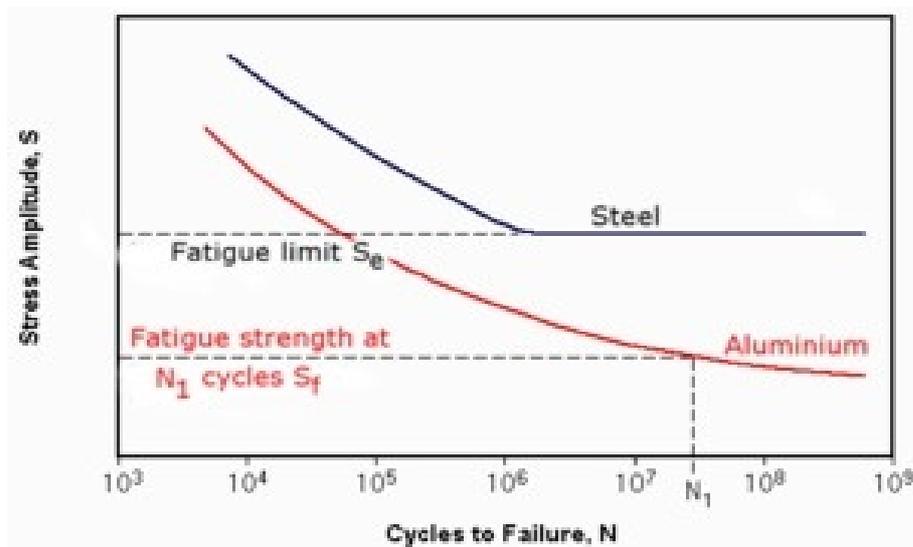


Figura 32: Comparação entre diagramas para aço e para alumínio.

A definição da tensão admissível para componentes submetidos à fadiga é, então, de natureza distinta daquela relacionada a membros sujeitos a cargas estáticas. A tensão admissível fica associada, desta vez, à vida que se deseja para aquele determinado componente. A vida do componente está diretamente ligada ao número de ciclos da carga à qual o componente estará submetido.

O tipo de fratura que ocorre para componentes submetidos a cargas cíclicas é significativamente característico. Uma fratura ocorrida em uma biela é mostrada na Fig. 33. Observa-se uma região em que ocorre uma trinca inicial. Esta trinca evolui à medida em que o carregamento cíclico é aplicado. A trinca evolui mas a área restante da seção em que esta ocorreu ainda é suficiente para resistir o carregamento. Chega um momento, no entanto, em que a trinca evolui o suficiente para que a área restante da seção não suporta mais os esforços e a peça rompe.

As propriedades de fadiga dos materiais são de extrema importância no equipamento mecânico. Muitas falhas de peças mecânicas podem decorrer da inobservância dessa importante consideração.



Figura 33: Exemplo de fratura por fadiga.

4.5 Esforços nos diversos componentes da estrutura veicular

Os esforços nos componentes da estrutura de um automóvel podem ser avaliados de várias formas diferentes. Como já foi visto anteriormente, pode ser determinado teoricamente, por meio da aplicação de condições de equilíbrio.

Uma outra técnica utilizada para a determinação de esforços é o Método de Elementos Finitos (“Finite Element Method” - FEM). Esta ferramenta computacional utiliza técnicas numéricas para solução das equações de equilíbrio da estrutura e para a obtenção dos esforços e permite a análise de estruturas com geometrias complexas. Além disto, esta técnica permite a obtenção de outros parâmetros tais como as frequências naturais e modos de vibração da estrutura.

A técnica de Elementos Finitos é baseada na discretização da estrutura em elementos mais simples, ou seja, para os quais já existe uma solução conhecida. A combinação desses elementos para a composição de uma estrutura mais complexa, com a correta aplicação de condições de contorno, constitui a essência do Método de Elementos Finitos.

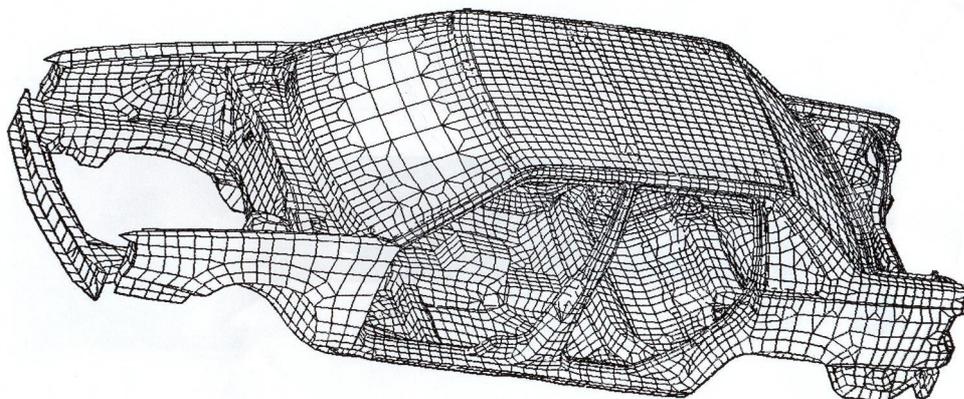


Figura 34: Discretização de um monobloco de automóvel.

Um exemplo de discretização de um monobloco de automóvel é fornecido na Fig. 34.

Os tipos de elementos que podem ser utilizados para compor uma estrutura mais complexa, no contexto do FEM, são:

- placas,
- tijolos,
- hastes,
- cascas, etc.

Os elementos são combinados para formar a estrutura, da forma mais fiel possível, constituindo o que é chamado de modelo da estrutura. Este modelo é, então, calculado e os resultados são transferidos para a estrutura real. Assim, quanto mais fiel for a discretização, mais representativos da realidade serão os resultados obtidos.

A aplicação do FEM envolve várias fases, dentre as quais pode-se citar:

- definição da geometria – na maioria dos casos, por se tratar de casos com geometrias complexas, com o auxílio de ferramentas CAD (“Computer Aided Design”);
- discretização da geometria – subdivisão da geometria da estrutura em elementos mais simples e para os quais já se tem uma solução analítica (elementos finitos);
- definição das propriedades de cada elemento – propriedades de rigidez, massa, etc.;
- aplicação das condições de contorno – imposição das restrições naturais da estrutura tais como apoios, engastamentos e restrições de deslocamento; e
- aplicação do carregamento – definição das cargas às quais a estrutura está submetida.

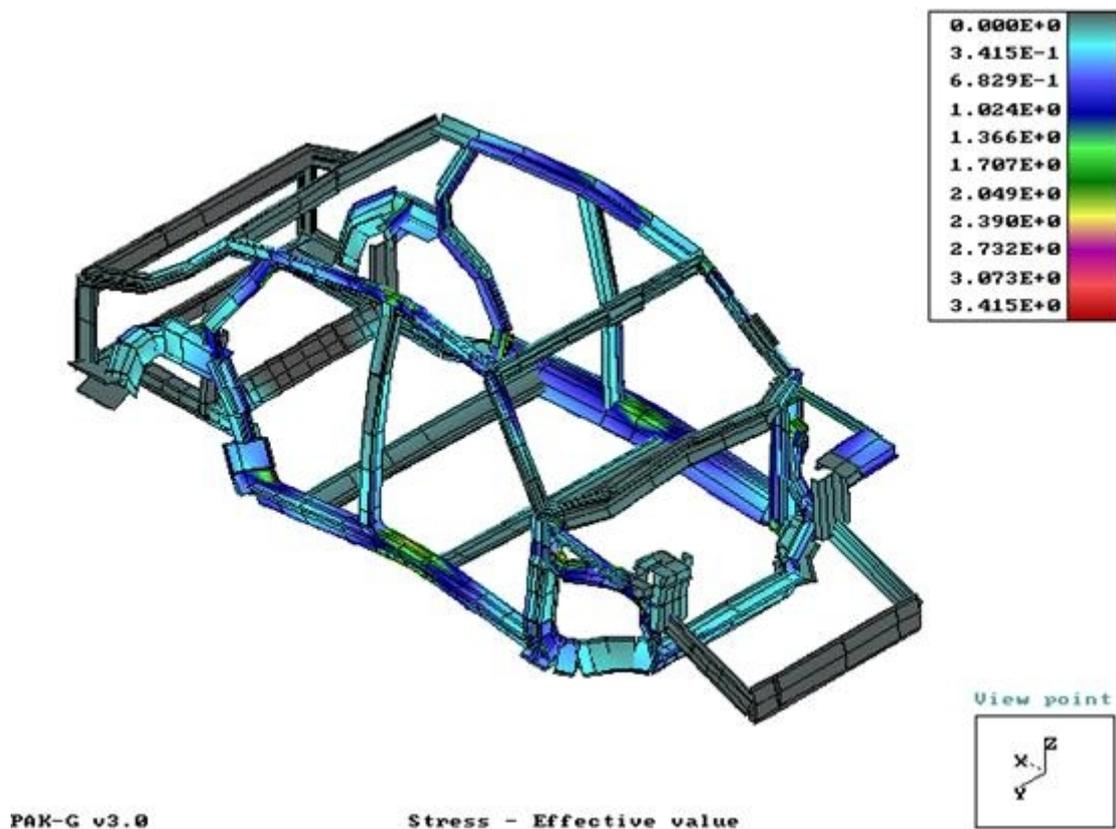


Figura 35: Esforços obtidos pelo Método de Elementos Finitos.

Os resultados obtidos para a distribuição de tensões em uma estrutura típica de automóveis é mostrada na Fig. 35. O cinza reflete tensões próximas de zero, as tonalidades de azul as tensões mais

baixas e as nuances de vermelho relacionam-se às tensões mais elevadas.

Outra possibilidade de utilização do Método de Elementos Finitos é a obtenção de frequências naturais e modos de vibração de uma estrutura. A Figura 36 apresenta um dos modos de vibração da estrutura de um automóvel típico dos dias atuais.

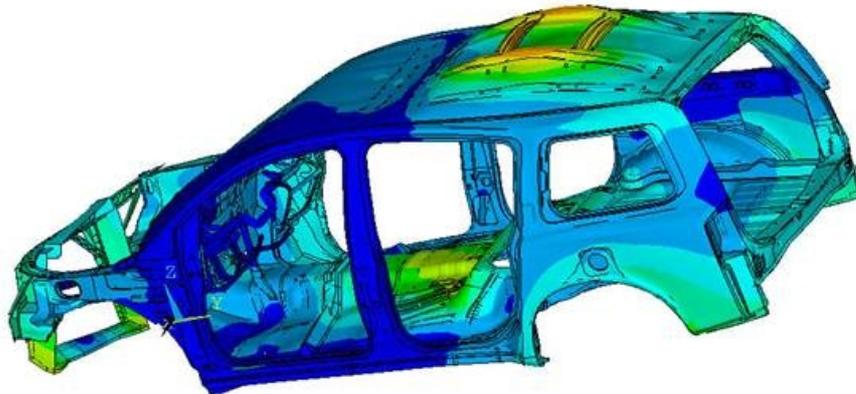


Figura 36: Modo de vibração de uma estrutura de automóvel típica.

5 Manutenção

A filosofia de manutenção de um veículo começa desde a fase de projeto. O ciclo de vida de uma produto inclui fases tais como a identificação e definição da necessidade, o projeto, a operação ou utilização e a desativação.

Assim, as inspeções em componentes e subsistemas torna-se vital para a operação segura de um veículo. Um dos sistemas do automóvel que requer uma atenção diferenciada, por suas características particulares, é a sua estrutura.

Como testar a estrutura e seus componentes para que a operação do veículo seja assegurada?

São duas filosofias de manutenção conceitualmente distintas e que levam a duas formas com diferentes conseqüências no que diz respeito ao ciclo de vida de uma aeronave. Na filosofia *fail safe*, pode-se estender a vida útil da aeronave. Esta filosofia é chamada de tolerante ao dano e leva à Análise de Tolerância do Dano (*Damage Tolerance Analysis – DTA*).

6 Referências

[1] Popov, E. P. **Introdução à Mecânica dos Sólidos**. São Paulo: Edgard Blücher, 1978.