

2

PROJETO CONCEITUAL

2.1

Informações gerenciais

2.1.1

Atribuições gerenciais

O gerente de projeto, ao exercer sua função, deve possuir a percepção sobre três áreas distintas que são o próprio gerenciamento do projeto, a visão sobre o produto a ser obtido e a visão administrativa do processo.

Segundo Prado [15], durante todo o ciclo de vida de um projeto, o coordenador ou gerente do projeto se envolverá com os aspectos relacionados com o produto e com o processo pelo qual o mesmo está sendo criado. Em projetos pequenos, o gerente é capaz de conhecer e acompanhar todas as características do produto que está sendo desenvolvido e, assim, seu maior envolvimento é com este aspecto. Neste caso, pode-se dizer que o gerente atua como gerente do produto. No caso de projetos maiores, a equipe também é maior e o gerente deve dedicar maior atenção ao gerenciamento do projeto do que ao gerenciamento do produto.

O gerente do produto tem como atribuição gerir aspectos relacionados com as especificações técnicas, desenhos, programas de computador, ou seja, os aspectos que definem as características físicas e de desempenho do produto. Entre as suas funções constam a análise do mercado quanto a parte técnica do produto; a criação de modelos, maquetes e protótipos; a especificação técnica do produto; a verificação da viabilidade técnica do produto; o acompanhamento da construção; o controle de qualidade e os testes de funcionamento.

Entre os documentos emitidos pelo gerente do produto estão;

- o estudo de viabilidade técnica do produto, que faz parte do estudo de viabilidade técnica e econômica;

- as especificações do produto, que são determinadas por um conjunto de requisitos de operação e consta de requisitos técnicos relativos a estas operações;
- as especificações de design;
- o plano de testes que será executado em duas fases sendo, primeiro com o protótipo e após aprovado, com amostras da pré-série de fabricação do produto;
- o resultado dos testes de ambas as fases.

É comum verificar que em grandes montadoras, o aspecto técnico do produto já está dividido em vários setores chefiados por um gerente de produto, ou gerente funcional, voltados exclusivamente para um ou mais sistemas do veículo. Desta forma, quanto ao aspecto técnico, a empresa pode estar dividida física e administrativamente em vários setores que correspondem a sistemas do veículo, tais como carroceria ou cabine; chassis, no caso de ônibus e caminhões; conjunto de força; suspensão; direção; e freio, entre outros, conforme figura 2.01.

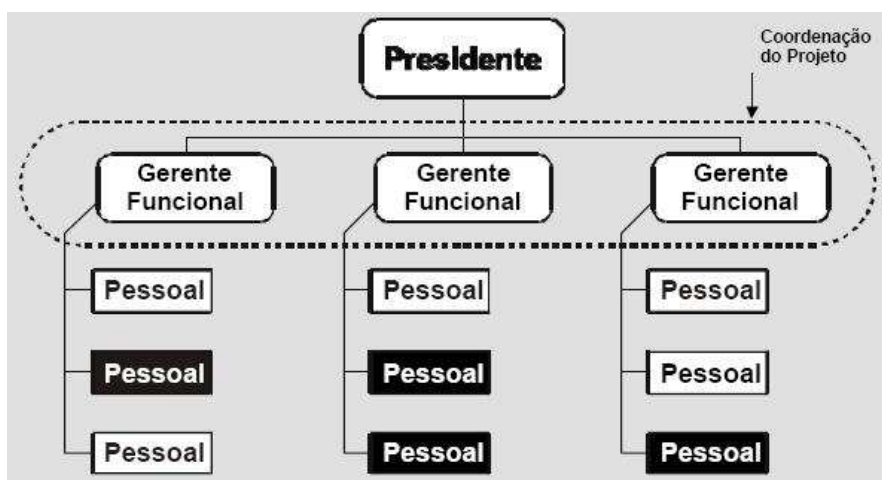


Figura 2.01 – Organização funcional - caixas pretas representam as pessoas relacionadas às atividades do projeto (PMBOK) – [14].

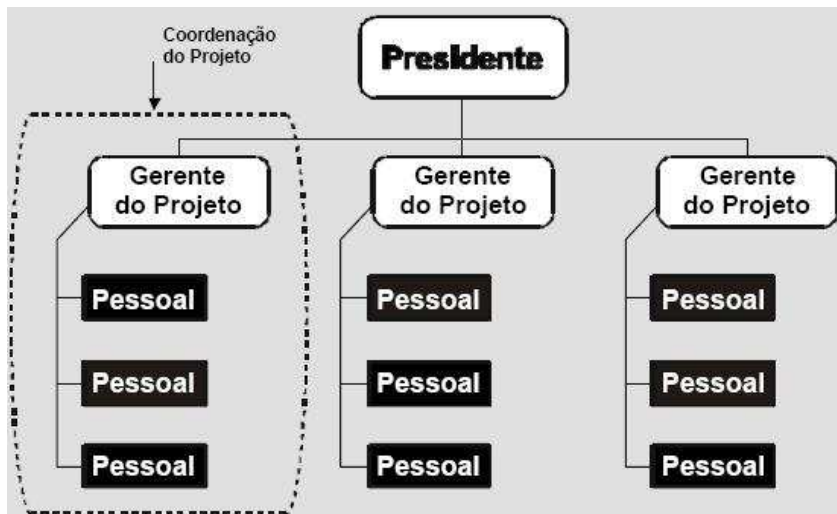


Figura 2.02 – Organização por projetos (PMBOK) – [14].

Em outras empresas é possível verificar a estrutura montada de acordo com ao projetos existentes, conforme figura 2.02. Nessa estrutura, muitas pessoas fazem o mesmo tipo de trabalho em projetos paralelos, causando dificuldade de otimização dos recursos humanos na empresa.

Para atender aos projetos, sem perder a eficiência de recursos, atualmente também é muito empregada a organização matricial forte (figura 2.03). Nesta organização, a empresa utiliza a sua estrutura funcional, sob a chefia dos gerentes de produto, das quais são selecionadas pessoas para responder pelos sistemas relativos ao projeto em suas diversas fases e ainda pela pré-aprovação do projeto na elaboração de requisitos e dos estudos de viabilidade técnica.

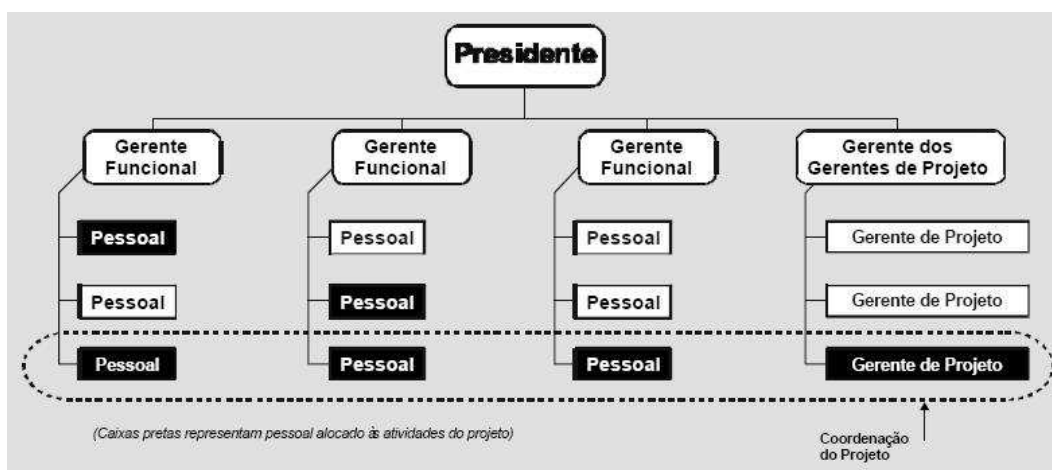


Figura 2.03 – Organização matricial forte (PMBOK) – [14].

Uma seqüência lógica para o início de um projeto deve prever se este será executado internamente ou externamente à empresa. No caso da visão global para o início do projeto de um veículo pode-se verificar como uma possível seqüência o fluxograma mostrado na figura 2.04.

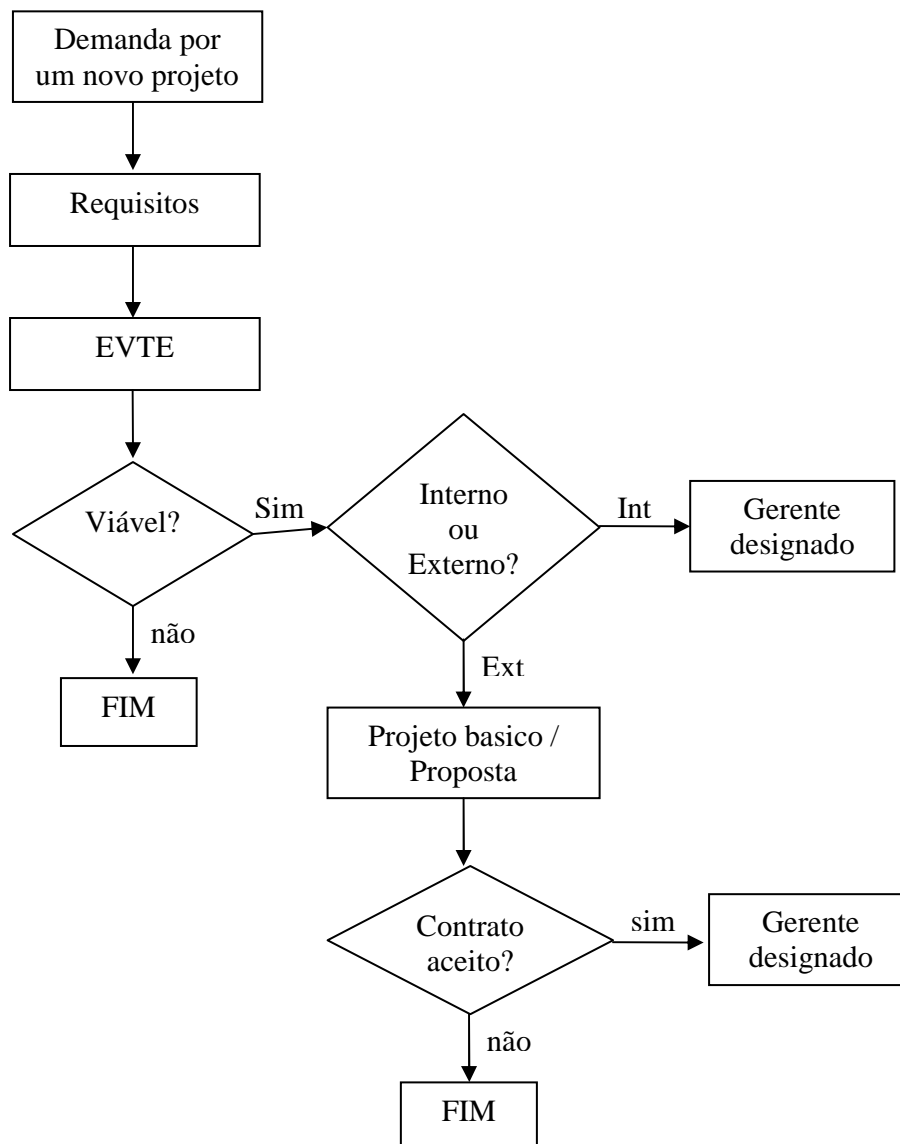


Figura 2.04 – Fluxo de iniciação de um novo projeto

O projeto de uma suspensão requer o equilíbrio entre prazo, qualidade e custo, tal como acontece em todos os projetos de engenharia. Para que possa existir esse equilíbrio é fundamental a realização da análise do emprego esperado para o material e dos resultados que se deseja alcançar, de forma que se possa montar planilhas com estes três parâmetros de projeto antes da fase de execução.

Diante do fluxo mostrado, podemos dizer que o projeto se inicia com a nomeação do gerente do projeto. Este é o responsável direto por este equilíbrio e por todas as demais etapas do projeto até que o mesmo esteja encerrado.

Segundo Staniforth [20], durante o projeto, uma lista de prioridades de caráter técnico deverá ser seguida, de preferência na seguinte ordem:

- 1- Verificação dos requisitos e regulamentos;
- 2- Escolha de pneus e rodas
- 3- Escolha ou desenho do cubo de rodas
- 4- Geometria da suspensão
- 5- Estudo do centro de rolagem
- 6- Estudo de molas
- 7- Estudo de amortecedores
- 8- Estudo de barras anti-rolagem e direção

No presente estudo, essa lista está inserida no contexto dos diversos capítulos a seguir.

2.1.2

Identificação da necessidade – Demanda por um novo projeto

A demanda por um novo projeto de veículo, pode ser determinada pela análise do mercado, pelo pedido de um grande cliente ou para a participação de uma competição automotiva.

No caso da análise do mercado, existem vários processos para identificação da necessidade e entre eles podemos citar a execução de pesquisas de opinião, ou seguir uma tendência tecnológica ou simplesmente acompanhar o comportamento da concorrência.

Segundo OKABE [12], são utilizadas diferentes formas de pesquisa de opinião. Entre elas são empregados: questionários, entrevistas que podem ser pessoais ou por telefone, observações, grupos de discussões e experimentos. A tabela 2.01 mostra as vantagens e desvantagens em relação a cada método:

| Métodos | Valor | Aspectos positivos e negativos |
|-------------------------------------|----------|---|
| Entrevista pessoal | Positivo | É o método mais flexível Melhor acompanhamento das respostas |
| | Negativo | Deve-se ter grande cuidado na seleção dos entrevistados, pois devem ser imparciais e pertencer ao grupo de interesse da pesquisa. |
| Entrevista por telefone | Positivo | Permitem o acompanhamento do entrevistado |
| | Negativo | Não é possível perceber reações físicas do entrevistado |
| Questionário enviado por via postal | Positivo | Mais ágil para o entrevistador |
| | Negativo | Taxas de retorno podem ser baixas. Reprodução e custos totais podem ser elevados |
| Questionário anônimo | Positivo | Taxa de resposta mais alta e mais confiável que por via postal |
| | Negativo | Falta de referência sobre o entrevistado |
| Questionário via internet | Positivo | Melhor custo que por via postal |
| | Negativo | Seleção de pessoas com acesso à internet pode restringir a pesquisa |
| Grupo de discussão | Positivo | Maior troca de informações. A informação de um participante pode incentivar os outros |
| | Negativo | Discussões fora de foco Intimidação entre os participantes |
| Experimento interno | Positivo | Permite maior interação entre o entrevistado e o problema |
| | Negativo | É um processo de custo elevado Amostragem pequena em relação ao universo pesquisado |
| Experimento externo | Positivo | Fornecer os resultados sobre as percepções dos clientes entrevistados sobre o produto acabado Atrai o cliente para a compra |
| | Negativo | As respostas geralmente servem como base para futuro projeto. Dependendo da importância da verificação obtida pode ser empregado no produto testado |
| Observações | Negativo | Não permitem o acompanhamento das respostas |

Tabela 2.01: Métodos de identificação da necessidade de um novo projeto.

Após executada a fase de entrevistas, deve ser emitido um relatório constando os resultados e conclusões relevantes ao projeto.

No caso da necessidade do projeto surgir pelo pedido de um cliente, este fornecerá, a princípio, aspectos muito básicos a respeito do que é desejado em relação ao projeto. Inicialmente apresentará o emprego para o qual o veículo será projetado e as premissas de operação desejadas.

Nesta fase inicial, o corpo técnico da empresa supervisionado pelos gerentes de produto das diversas áreas, incluindo a de suspensão, deve verificar as necessidades apresentadas através do relatório de análise do mercado ou por documentos enviados pelo cliente e que sejam relevantes ao escopo de suas áreas.

No caso da área de suspensões podem ser verificadas, entre outras, as questões de:

- emprego do veículo – aplicação quanto ao tipo de solo pelo qual o veículo irá se locomover, utilização para transporte de carga e/ou de passageiros, pesos a serem transportados, uso militar ou civil, blindado ou não, etc

- desempenho – velocidade esperada do veículo para os diversos tipos de terreno tidos como premissa de utilização;

- ergonomia – quanto aos itens relacionados ao desconforto causado pelas frequências transmitidas à cabine dentro de limites impróprios ao organismo humano, e quanto as frequências de *dive*, *squat* e *roll*, dentro da faixa de velocidade e terreno tidos como premissa de utilização do veículo;

De posse destas informações, é possível utilizar a ferramenta Desdobramento da Função Qualidade - *Quality for Function Design* (QFD), de forma a construir a base dos requisitos técnicos do projeto.

Por último, a necessidade de participação em uma competição automobilística também define a possibilidade de demanda por um novo projeto de veículo.

No próximo tópico serão verificadas as possibilidades de aplicação de um veículo e como devem ser tratadas as necessidades de forma que o gerente da área de suspensões possa prever com sua equipe os requisitos técnicos que devem ser atendidos pelo produto final.

2.1.3

Definição da aplicação geral

O primeiro passo em qualquer projeto de suspensão é a identificação do emprego que será dado ao veículo. São várias as definições de emprego dos veículos. Visando o projeto de suspensão é discriminado o emprego, de uma forma generalista, para terreno fora-de-estrada, terra batida ou asfalto.

Sendo mais específico para cada caso, pode-se distinguir que os veículos que são para uso fora-de-estrada podem ser divididos em veículos para enduro de velocidade ou *rally*, superação de obstáculos, passeio, transporte de carga, militares ou implementos agrícolas ou de obras civis.

Os veículos fora-de-estrada são bastante diversos e de acordo com o peso bruto total e com a necessidade de transposição de obstáculos, podem ser ainda, de rodas ou de lagartas.

Os veículos de lagartas não serão abordados no presente estudo. Mas é relevante saber que estes são geralmente empregados como implementos agrícolas ou de obras civis ou como veículos militares, devido principalmente às elevadas cargas. Entretanto, no caso de veículos militares, a velocidade, o emprego em qualquer terreno (fora-de-estrada, terra batida e asfalto), e a necessidade de proteção balística implicam em uma dificuldade de projeto que é a seleção entre rodas ou lagartas para este fim. Em ambos os casos, é necessário que ocorra a distribuição de peso adequada e permitida entre os vários eixos do veículo, de forma a obter o máximo desempenho, tanto em velocidade, como em capacidade de manobra e capacidade de carga. É por isso que atualmente os veículos militares de grande porte por rodas estão utilizando três, quatro ou cinco eixos. Os veículos militares têm várias de suas premissas de projeto abordadas em normas AMCP americanas – Army Materiel Command Pamphlet. Estas normas definem os parâmetros de utilização para os materiais de emprego militar nos Estados Unidos.

Casos especiais de veículos fora de estrada são encontrados em mineradoras. Estes possuem de dois a quatro eixos e seus pneus podem ter diâmetro de até três metros e quarenta centímetros, de acordo com o mercado atual.

No caso de veículos de menor peso bruto, tipo pick-up ou jipe, são utilizados dois eixos, com tração no eixo dianteiro, traseiro ou ambos, caso da tração 4x4.

Para a utilização em terra batida estão os veículos de enduro, de passeio e de transporte de carga e, para o uso no asfalto, estão os de competição de corrida, os de passeio, os de transporte de carga.

A concepção dos veículos para uso em terra batida e no asfalto é muito similar. Entretanto, deve-se perceber que o uso em terra batida causa maiores amplitudes nas ondas de frequência de entrada no sistema da suspensão que o uso no asfalto. Os veículos projetados para a terra batida devem possuir componentes reforçados em relação aos veículos que são para o asfalto, para suportar estas cargas de utilização. Este reforço, na suspensão, inclui a utilização de molas com maior rigidez e amortecedores com maior coeficiente de amortecimento. Além disso, existe a preferência por suspensões por eixo rígido para veículos de carga que tenham o baixo custo como escopo de projeto e, uso de eixo independente para melhor desempenho e estabilidade do veículo. O que vemos normalmente em pick-ups é o meio termo entre os jipes e os SUVs. Os jipes costumam utilizar eixo rígido nos dois eixos e os SUVs estão começando a apresentar os dois eixos independentes na busca pelo conforto e estabilidade. Assim, as pick-ups atuais, geralmente voltadas para o transporte de carga na traseira, possuem o eixo dianteiro independente e o eixo traseiro rígido.

No caso de veículos de passeio para uso no asfalto é muito comum verificar a utilização de eixo independente na dianteira e uma alternância entre eixo rígido ou independente na traseira, como visto na figura 2.05. Deve-se perceber ainda que a forma como está apresentada esta figura é de um veículo de época remota e atualmente o eixo traseiro, quando rígido é apresentado em automóveis de passeio no tipo quatro barras ou *Four link*, que será visto no item deste trabalho denominado “Tipos de suspensão”.

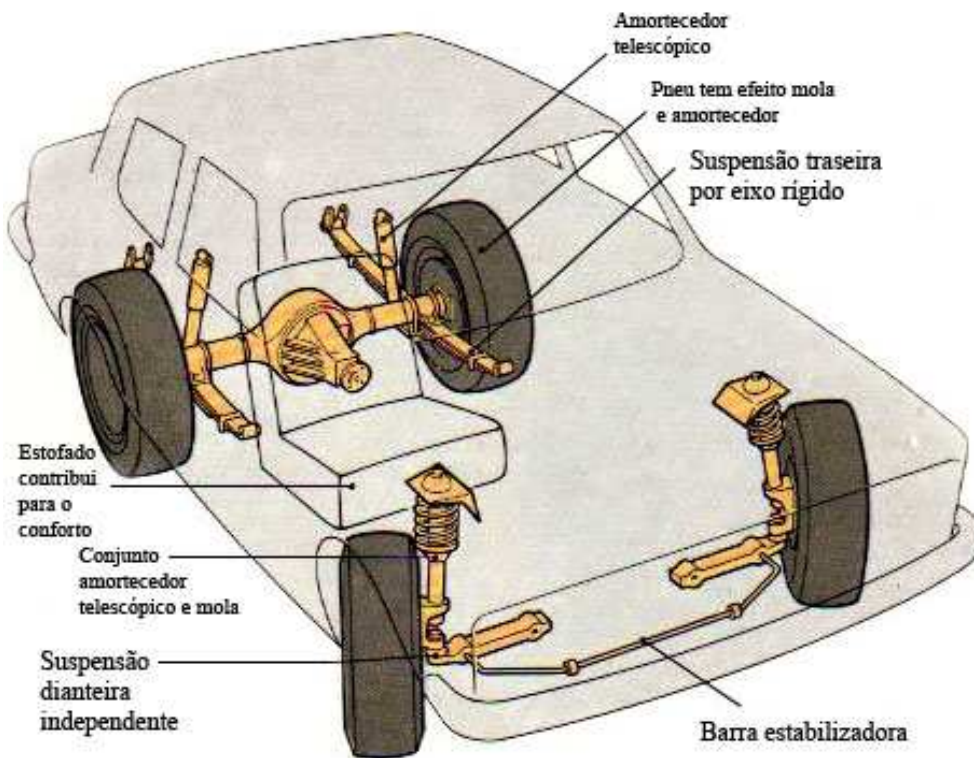


Figura 2.05 – Modelo de suspensão para uso no asfalto, com eixo rígido na traseira (Fonte: O Livro do Automóvel) – [11].

Segundo o Código de Trânsito Brasileiro (CTB) – [5], de 1997, os veículos classificam-se quanto à tração, quanto à espécie e quanto à categoria. Quanto à tração trataremos apenas dos veículos automotores. Quanto à espécie, existem os de passageiros (automóvel, microônibus, ônibus etc), os de carga (caminhonete, caminhão etc), os de emprego misto (caminhoneta, utilitários etc), os de competição, os de tração (caminhão-trator, trator de rodas, trator de esteiras e trator misto) e os especiais. E quanto à categoria, são separados apenas quanto ao tipo de documentação. A definição de algumas classificações de veículos está descrita na tabela 2.02.

| Tipo | Definição |
|------------------------|---|
| Veículo Automotor | Todo veículo a motor de propulsão que circule por seus próprios meios, e que serve normalmente para o transporte viário de pessoas e coisas, ou para a tração viária de veículos utilizados para o transporte de pessoas e coisas. O termo compreende os veículos conectados a uma linha elétrica e que não circulam sobre trilhos (ônibus elétrico). |
| Veículo de Passageiros | Veículo destinado ao transporte de pessoas e suas bagagens. |
| Veículo de Carga | Veículo destinado ao transporte de carga, podendo transportar dois passageiros, exclusive o condutor. |
| Veículo Misto | Veículo automotor destinado ao transporte simultâneo de carga e passageiro. |
| Automóvel | Veículo automotor destinado ao transporte de passageiros, com capacidade para até oito pessoas, exclusive o condutor. |
| Caminhonete | Veículo destinado ao transporte de carga com peso bruto total de até três mil e quinhentos quilogramas. |
| Camioneta | Veículo misto destinado ao transporte de passageiros e carga no mesmo compartimento. |
| Utilitário | Veículo misto caracterizado pela versatilidade do seu uso, inclusive fora de estrada. |

Tabela 2.02 – Definições de tipos de veículos

Desta forma, o veículo deverá ser classificado de acordo com o CTB, mas a distinção de seu emprego vai além desta classificação conforme foi descrito anteriormente.

2.1.4

Requisitos de projeto

O projeto de uma suspensão requer o equilíbrio entre prazo, qualidade e custo, tal como ocorre em todos os projetos de engenharia. Para que possa existir esse equilíbrio, é fundamental a realização da análise do estimado para o veículo e dos resultados que se deseja alcançar. Assim, é necessário que sejam montadas planilhas com esses três parâmetros de projeto antes da fase de execução.

No aspecto da qualidade, o primeiro pensamento que temos é quanto ao controle de qualidade. Entretanto, este controle é realizado apenas na fase de produção.

Para que a qualidade do produto seja garantida, é necessário que antes do início da execução do projeto seja realizado o planejamento e o relacionamento das necessidades apresentadas.

Um dos melhores métodos utilizados, capaz de proporcionar o aumento da qualidade do produto, é o Quality Function Deployment (QFD). Através deste método pode-se organizar, relacionar e traduzir as necessidades apresentadas anteriormente em requisitos técnicos de engenharia. O QFD pode ser empregado em todo o desenvolvimento do novo produto ou em melhorias no projeto já existente.

Depois de verificada a aplicação geral do veículo, a equipe de projeto poderá estabelecer relações entre as várias necessidades apresentadas em relatório ou pelo cliente aplicando a ferramenta QFD. Esta ferramenta possibilita a análise de informações geradas pelo processo de pesquisa, pelas informações fornecidas pelo cliente ou pelas informações listadas nos regulamentos de competições.

O principal método utilizado para desenvolver o QFD é a matriz da “Casa da qualidade”.

O resultado da utilização desta ferramenta é a lista dos requisitos técnicos de engenharia obtidos. O conjunto de requisitos técnicos é apresentado em documentos que geralmente recebem denominações distintas, tais como, “Caderno de especificações”, ou “Caderno de conceitos”, entre outros.

Os requisitos técnicos, ao serem apresentados em documentos, podem estar separados em diversas áreas ou tópicos de interesse.

No caso do projeto de um veículo, pode-se citar uma relação que contenha:

- * Características de desempenho
- * Características dimensionais
- * Chassis e carroceria
- * Sistema de força
- * Sistema de alimentação e escapamento
- * Sistemas de suspensão e de direção
- * Sistema de freio
- * Sistema elétrico
- * Acessórios
- * Confiabilidade, disponibilidade inerente e manutenibilidade.

Nestes tópicos, ficam numerados os vários itens. Cada item recebe um peso, de acordo com a necessidade verificada pelo QFD. Os itens obrigatórios recebem pesos elevados (por exemplo, de 7 a 10) e itens não obrigatórios podem ser divididos em desejáveis (de 4 a 6 pontos) e complementares (de 1 a 3 pontos). Os itens complementares são, geralmente, desejos dos clientes que fogem ao orçamento permitido ou combinado para o projeto, ou mesmo ao tempo de execução previsto, ou ainda às possibilidades de emprego da tecnologia proposta, caso esta seja uma tecnologia ainda não existente. Desta forma, estes apenas serão executados se, no decorrer do projeto, as condições se mostrarem favoráveis. Um modelo de documento de requisito técnico pode ser visto no Anexo 1. No caso de competições, já existe uma lista de requisitos que devem ser cumpridos por todos os veículos participantes. A equipe deverá identificar as relações existentes entre estes requisitos e quais afetam o projeto das suspensões de forma a diminuir o retrabalho durante a execução do projeto.

2.1.5

Estudo de viabilidade técnica e econômica - EVTE

Para a elaboração do EVTE é realizado anteriormente o ANTEPROJETO. Neste documento são concretizadas as expectativas do projeto, relacionando os requisitos técnicos e do cliente com possíveis soluções a serem empregadas. No caso do sistema de suspensões é onde aparecem os tipos que podem ser utilizados para atender aos requisitos e a escolha do tipo mais recomendado. Nele ainda constam os pneus que serão verificados em projeto e serão feitas comparações com outros veículos já existentes no mercado e a tendência tecnológica para o futuro.

O EVTE toma como base o Anteprojeto, e mostra as possibilidades de adequação das soluções técnicas apresentadas em relação aos limites de prazo e custos envolvidos no projeto. Pode incluir a expectativa de valor de mercado para o produto final e, caso este tenha sido um requisito limitado pelo cliente, mostra

como este poderá ser atendido pelo projeto e quais requisitos poderão ser prejudicados.

O EVTE pronto fica sujeito à aprovação de acordo com a figura 2.04. Em sua aprovação também é definido se será feito pela empresa ou se será terceirizado. Para terceirizar ainda é necessária a elaboração do PROJETO BÁSICO, no qual consta o detalhamento do projeto final com prazos e custos, desenhos de conceito ou *design* do produto, entre outros itens que concretizem o que foi aprovado nas documentações anteriores e que farão parte do anexo ao contrato. No caso do projeto ser desenvolvido pela própria empresa, o gerente do projeto é nomeado, sendo o responsável pela integração das informações entre as áreas de acordo com as premissas técnicas do projeto que foram apontadas nos documentos de definição e validadas. Também é responsável pelo acompanhamento ao cronograma e às planilhas de custos das diversas áreas que devem atender ao cronograma macro e custo total do projeto.

2.2

Tipos de suspensão

Definida a aplicação para o veículo, é escolhido o tipo de suspensão a ser utilizada. Para isso, deve-se ter como premissa qual será o desempenho do veículo para executar a aplicação a qual ele se destina.

Existem vários tipos de suspensão já adotados em veículos e cada um deles tem uma característica própria. As suspensões podem ser divididas primariamente em dois grupos, as de eixo rígido e as de eixo independente.

As suspensões podem ainda ser divididas entre as de atuação ativa, semi-ativa e passiva. A suspensão passiva é aquela que utiliza os elementos mola e amortecedor com atuação mecânica, sem componentes eletrônicos auxiliando seus movimentos. Na suspensão semi-ativa, o amortecedor possui um sistema de controle que permite variar seu fator de amortecimento em função do tempo, enquanto a mola do sistema passivo é mantida. A suspensão ativa é caracterizada pelo uso de atuadores, geralmente hidráulicos, com controladores eletrônicos que

substituem a mola e o amortecedor convencionais da suspensão passiva. A Figura 2.06 explica melhor as diferenças entre estes três sistemas. Os sistemas ativo e semi-ativo podem ainda ser de baixa frequência (1 a 3 Hz) ou de alta frequência (10 a 15Hz).

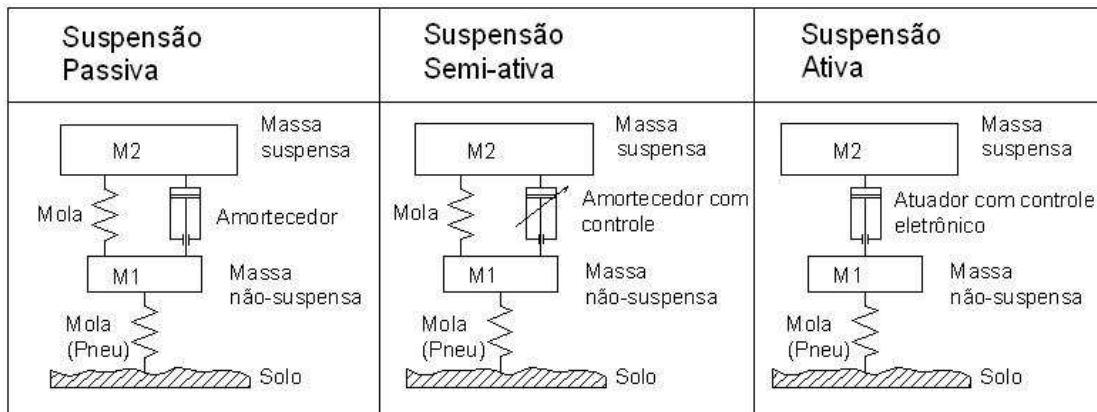


Figura 2.06 – Comparação entre as suspensões passiva, semi-ativa e ativa.

O uso dos sistemas semi-ativo e ativo em um projeto de suspensões é prejudicial quanto ao custo, peso, complexidade e confiabilidade e apresenta como qualidades a possibilidade de controlar, conforme necessário, a resposta às frequências verticais impostas pelo solo, a altura da massa suspensa, a rolagem lateral da carroceria, o mergulho nas frenagens, a arfagem nas acelerações e a dirigibilidade nas curvas.

O presente trabalho está restrito ao estudo da suspensão passiva, podendo servir como base para a implementação das suspensões ativa e semi-ativa, de acordo com a substituição das molas e amortecedores dos sistemas que serão estudados.

2.2.1

Suspensão por eixo rígido

São reconhecidas pela existência de um elo rígido de ligação entre as rodas de suas extremidades, restringindo todos os movimentos relativos entre elas com exceção de suas rotações e dos movimentos de direção.

Possuem uma séria de desvantagens em sua concepção que, entretanto, são bem aceitas no mercado de veículos pela sua economia de manufatura e de manutenção. Entre as maiores desvantagens pode-se apontar:

- a total influência entre as rodas do eixo;
- o espaço requerido sobre o eixo, correspondente à trajetória limitada pelas molas,
- Impossibilidade de ajuste dos ângulos característicos;
- o peso do diferencial no eixo aumenta a massa não-suspensa, causando maior inércia aos movimentos da suspensão e descolamento do pneu com o solo.

Este tipo de sistema é bastante utilizado em veículos de transporte de carga e normalmente empregado na dianteira de caminhões mais pesados.

Entre as suspensões por eixo rígido existem as do tipo Hotchkiss, Four Link e De Dion, entre outras.

2.2.1.1

Suspensão tipo Hotchkiss

Este sistema é formado pela combinação da suspensão e da fixação do eixo traseiro por dois conjuntos de mola de feixe montados sob o eixo (figura 2.07).

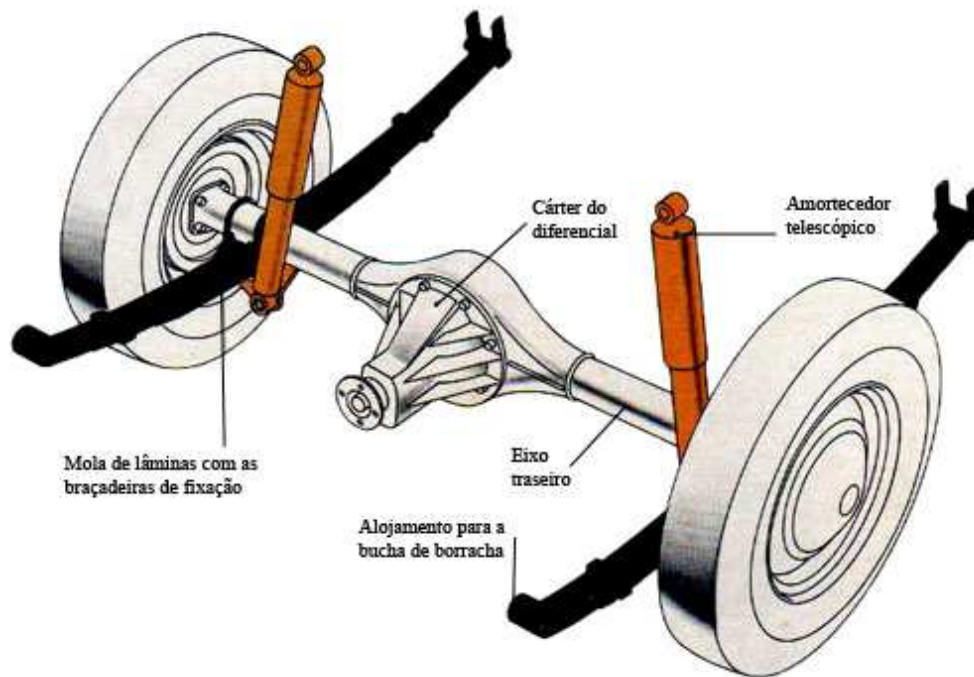


Figura 2.07 – Sistema Hotchkiss (Fonte: O Livro do Automóvel) – [11].

Este sistema de suspensão permite maior rolagem da carroceria que os sistemas por eixo independente e sua utilização pode causar perda de estabilidade em curvas realizadas com maior velocidade. É comum as montadoras diminuírem este efeito colocando o eixo dianteiro independente, deixando apenas o traseiro como rígido. Portanto se o veículo for para superação de terrenos, podem-se utilizar os dois eixos rígidos, mas se for para uso misto com elevadas velocidades não é muito recomendável seu uso na dianteira.

Neste sistema é possível a utilização de barras longitudinais de fixação ligadas ao eixo para limitar a deflexão das molas durante as trações e frenagens.

2.2.1.2

Suspensão tipo Four Link

Este sistema começou a ser utilizado em substituição ao sistema Hotchkiss em veículos de passageiros com sistema de eixo rígido traseiro tracionado. Neste caso, a mola helicoidal substitui a mola por lâminas e a resistência necessária para

manter o eixo na posição correta em relação ao chassi é feita pelos braços de ligação, conforme mostrado na figura 2.08.

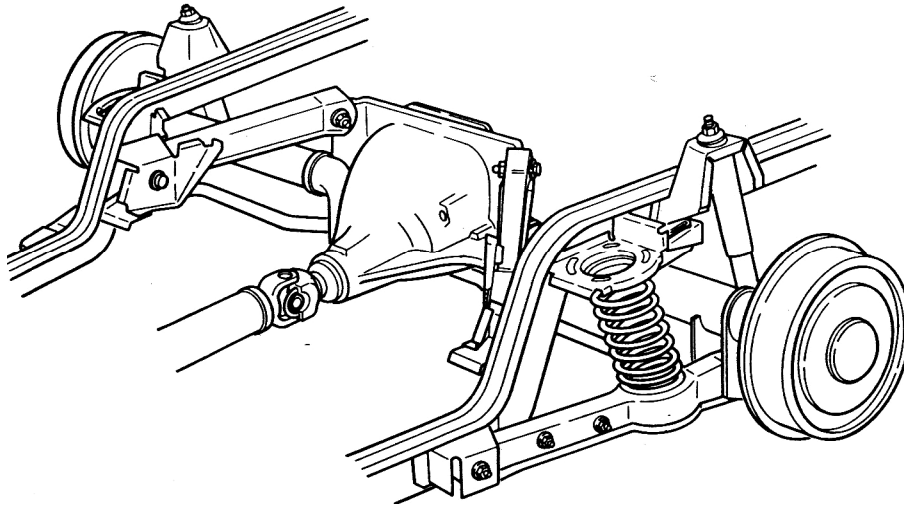


Figura 2.08 – Sistema Four Link (Gillespie) – [7].

2.2.1.3

Suspensão tipo De Dion

A montagem deste sistema é bastante parecida com o sistema independente por semi-eixos flutuantes, mas a existência de uma barra de ligação entre as duas rodas faz com que este seja um sistema do tipo rígido. Entretanto este sistema apresenta a vantagem, em relação ao sistema Hotchkiss, de possuir menor massa não-suspensa. Segundo Gillespie [7], este sistema foi pouco usado em projetos de suspensão e sua maior desvantagem é a fricção dos componentes da união deslizante.

Sendo um sistema intermediário entre o eixo rígido e o independente, possui a vantagem de não precisar de espaço sob a carroceria para a movimentação do diferencial. Sua configuração pode ser vista na figura 2.09 abaixo.

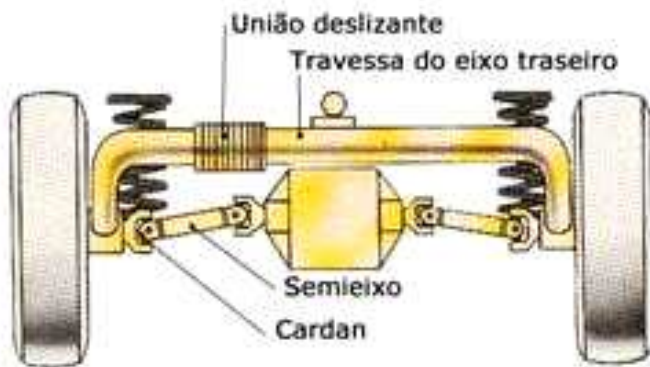


Figura 2.09 – Sistema De Dion (Fonte: O Livro do Automóvel) – [11].

2.2.2

Suspensão Independente

São caracterizadas pela possibilidade de movimentos relativos na vertical entre as rodas de um mesmo eixo de transmissão. Suas principais características são: a grande capacidade de absorção de vibrações e a maior resistência ao movimento de rolamento da carroceria em relação ao sistema de eixo rígido. Entre elas se destacam as MacPherson, semi-eixo flutuante, triângulo traseiro perpendicular, triângulo traseiro em diagonal, e bandeja dupla podendo ser de braços paralelos (também denominada trapézio articulado) ou não.

2.2.2.1

Suspensão MacPherson

Este é o sistema mais utilizado no eixo dianteiro de veículos de passageiros na atualidade. Este sistema possui como principais vantagens a pequena quantidade de componentes, a economia de espaço utilizado pela suspensão a simplicidade de manufatura e desempenho adequado ao uso urbano (figura 2.10).

A manga de eixo no qual está conectada a roda é solidária à parte inferior do tirante telescópico. O tirante, que tem a função de amortecedor da suspensão, é

fixado em sua parte superior à carroceria com a utilização de bucha de borracha com rolamento. A mola usada nesse sistema é helicoidal. Esta é fixa entre as duas partes do tirante, envolvendo o amortecedor, de forma que os percursos da mola e do amortecedor de uma mesma roda são praticamente iguais. A parte inferior do tirante é acoplada a um braço triangular na forma de bandeja ou a um sistema com dois braços ligados à carroceria.

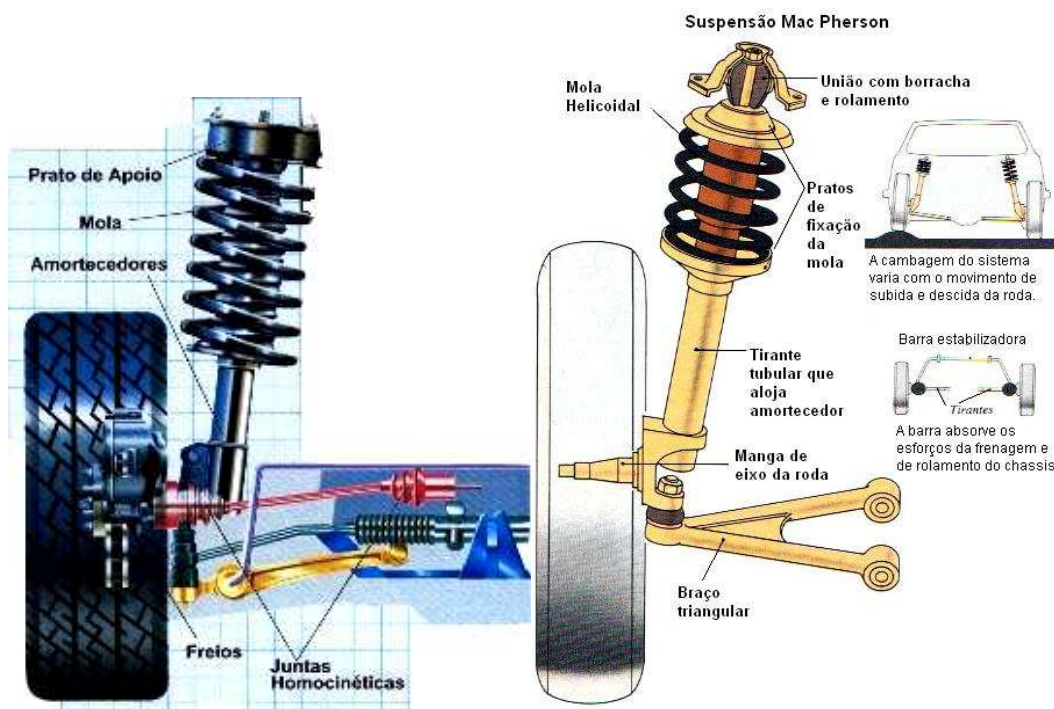


Figura 2.10 – Sistema MacPherson. Muito usado nos veículos de fabricação em série.

2.2.2.2

Semi-eixo flutuante

Utilizado nos eixos traseiros ou não direcionais, originalmente foi implementado apenas com os cardans mais próximos aos diferenciais. Nesta montagem, os eixos são fixados nos cardans do diferencial que é solidário à carroceria. A suspensão pode ser realizada por meio de uma mola de lâminas montada transversalmente em relação à linha de eixo do automóvel, aparafusada à

parte central do chassi e com as extremidades ligadas, por braçadeira com rolamento, aos eixos. Este tipo de suspensão pode ser visto no VW Fusca e tem como principal problema a formação de excessiva cambagem positiva na roda externa durante as curvas, causando perda de estabilidade nas mesmas, com risco de capotagem quando empregado em altas velocidades.

Mais tarde também foram colocados cardans próximos às rodas e deslocado o acoplamento das molas. Deste modo pode-se diminuir o problema de câmbem positivo do primeiro sistema. Tem como fatores positivos a sua simplicidade e baixo custo de implementação e manutenção.

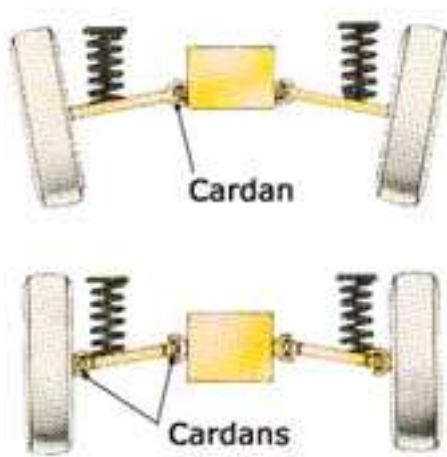


Figura 2.11 – Sistema de semi-eixo flutuante (Fonte: O Livro do Automóvel) – [11]. A utilização de cardans reduz a inclinação lateral das rodas (cambagem) nas curvas.

2.2.2.3

Triângulo traseiro

O sistema de triângulo traseiro pode ser perpendicular ou diagonal.

No sistema perpendicular, cada uma das rodas traseiras é acoplada a um triângulo com articulação na estrutura do automóvel. A articulação é perpendicular à linha de eixo, permitindo a movimentação da roda para cima e para baixo conforme as irregularidades do pavimento e sem alteração do seu alinhamento.

No sistema diagonal, as linhas de centro de articulação dos triângulos com a carroceria, estão montadas formando um ângulo acentuado com a linha de eixo do automóvel. Desta forma é possível projetar para cada roda um ângulo pré-determinado de variação, quer na cambagem, quer no alinhamento, nos movimentos das rodas para cima e para baixo, conforme as irregularidades do pavimento. Este sistema é utilizado no VW Gol.

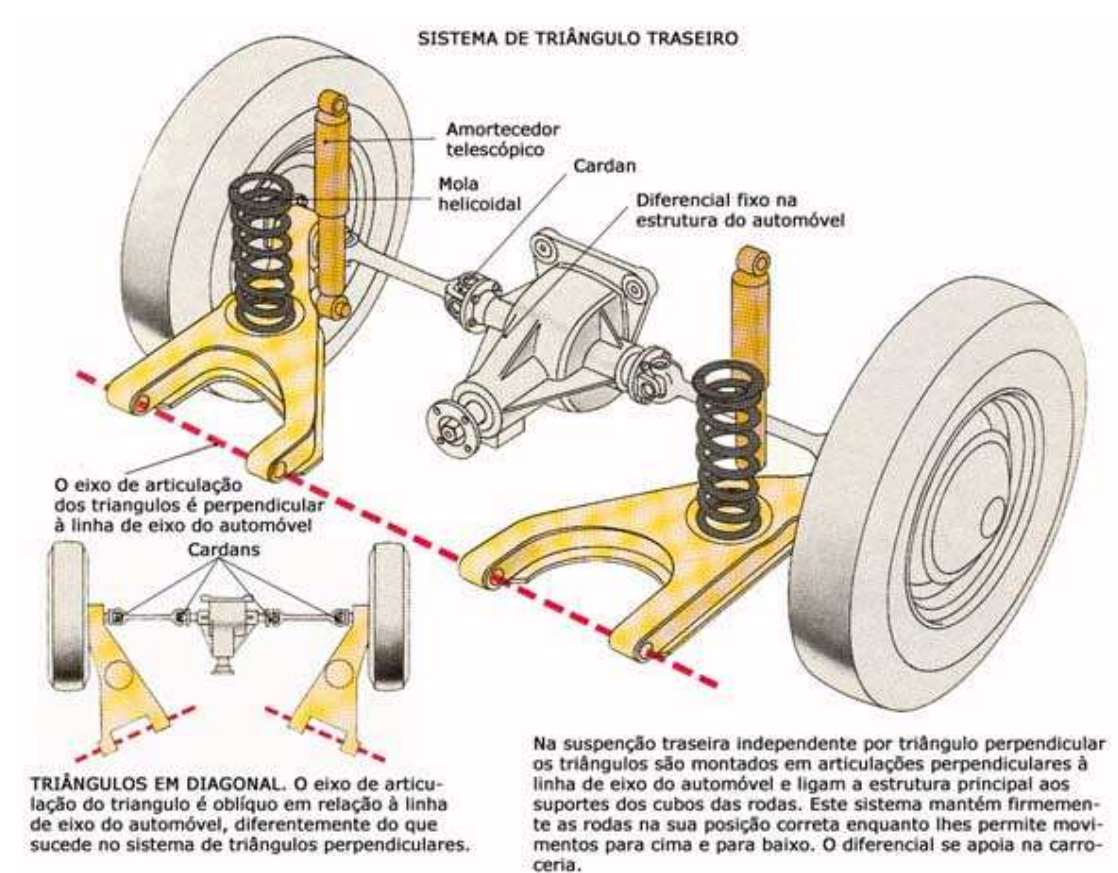


Figura 2.12 – Sistemas de triângulo traseiro perpendicular e em diagonal – [11].

2.2.2.4

Bandeja dupla paralela ou Trapézio articulado

A bandeja dupla foi o tipo mais comum de suspensão empregada no eixo dianteiro de veículos antes do emprego atual de MacPherson. Atualmente ainda é

muito útil, principalmente nos casos em que se deseja ter o total controle sobre os ângulos característicos da suspensão do veículo.

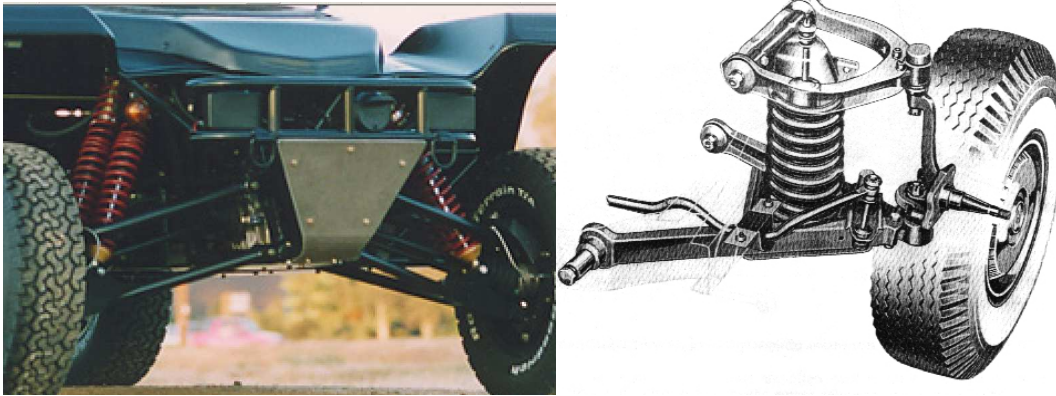


Figura 2.13 – Suspensões por braços paralelos de comprimentos distintos.

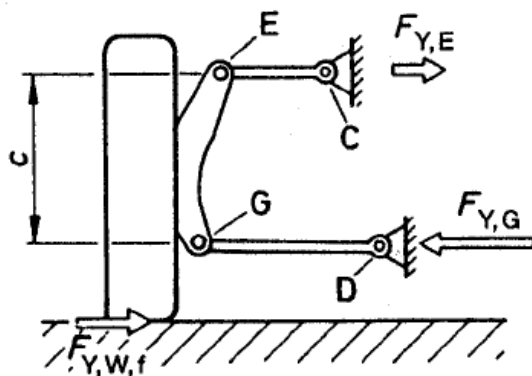


Figura 2.14 – Distribuição de forças em uma suspensão por bandeja dupla paralela.

Em suspensões independentes do tipo bandeja dupla, a força de reação lateral é distribuída na estrutura entre os pontos C e D. A posição destes pontos pode influenciar na diminuição da rolagem da carroceria. Neste caso a distância entre os pontos E e G deve ser a maior possível de forma a se ter efeito contra a rolagem.

2.2.2.5

Bandeja dupla com braços não-paralelos

Para ajudar a corrigir o problema da rolagem identificado na figura 2.15, o sistema de bandeja dupla pode ser também utilizado com braços não paralelos. A posição de ancoragem das bandejas na carroceria e o ângulo que estas bandejas formam podem determinar a altura do centro de rolagem e a melhor definição dos ângulos característicos.

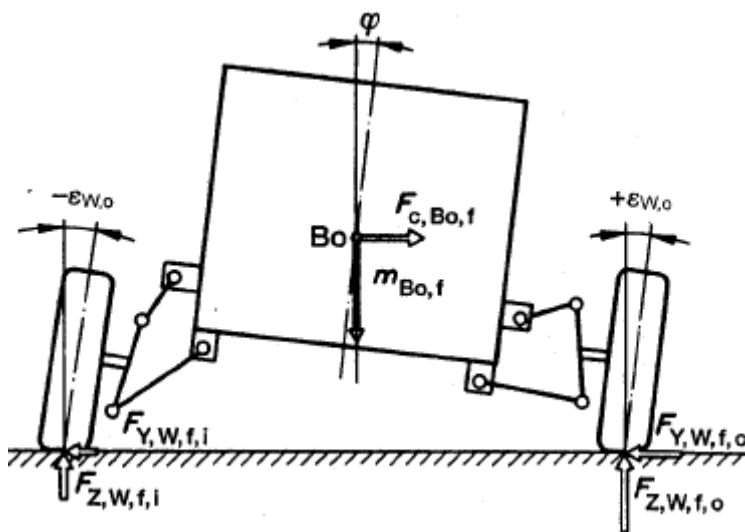


Figura 2.15 – Sistema de bandeja dupla em situação não desejável de câster positivo. Nesta figura, o pneu externo à curva está apresentando câster positivo. A configuração de bandejas não paralelas e de comprimentos diferentes ajuda a resolver este problema.



Figura 2.16 – Sistema de Bandeja Dupla usado no Maserati Spyder.

2.2.3

Escolha do tipo

Caso ainda existam dúvidas sobre o tipo de suspensão a ser escolhido, mais de um tipo de suspensão pode ser avaliado segundo a análise virtual. Para este processo normalmente é empregado o programa ADAMS para a execução de análises dinâmicas em veículos.

Obtidos os resultados das simulações, pode ser empregado o método de Taguchi para a escolha. Este método, segundo Okabe [12], consiste na aplicação de um determinado número de experimentos que minimizam os efeitos de um parâmetro sobre os outros. Assim, os possíveis tipos de suspensão a serem utilizados em um determinado projeto podem ter seus comportamentos verificados por simulação virtual e em seguida estes resultados são processados pelo método de Taguchi, no qual é otimizado o processo de escolha e sua análise de sinal-ruído permite que a influência dos parâmetros (coeficiente de rigidez das molas, fatores de amortecimento, comprimento dos braços de ligação) seja detectada diante do desempenho do veículo. De qualquer forma, a percepção prática que a experiência traz ao projetista é fundamental para a análise crítica na escolha do tipo de suspensão a ser empregada em cada caso.

Como exemplo, no caso de um veículo de corrida para uso em circuito de asfalto, a suspensão deve ser o mais leve possível e não precisa ter grande deslocamento vertical, pois as pistas de corrida são niveladas e sem grandes ondulações no asfalto.

Entretanto, por mais niveladas que estas pistas sejam, a suspensão do veículo deve ser eficaz, frente a todas as irregularidades, mantendo o veículo a maior parte do tempo em contato com o solo, com a menor variação de carregamento e com o esterçamento e câmber adequados, de forma a não perder a aderência, a tração e a capacidade de frear e de imprimir curvas, reagindo ainda contra as forças impressas pelos sistemas de direção, tração e frenagem.

Tempos atrás, até os veículos de corrida utilizavam eixo rígido na dianteira e na traseira. Atualmente, além do fato dos veículos de corrida utilizarem suspensão independente nas quatro rodas, os componentes destes sistemas são cada vez mais

leves, graças ao uso de materiais mais resistentes e das simulações computadorizadas.



Figura 2.17 – Foto de um carro de Fórmula 1.

Para a construção de um veículo de corrida monotripulado para uso em circuito de asfalto podemos ter como premissa o mesmo tipo de suspensão utilizado para um veículo de Fórmula 1, conforme pode ser visto na figura 2.17. Neste modelo, vemos a utilização de suspensão dianteira do tipo bandeja dupla (ou conforme nomenclatura inglesa, “Double Wishbone”), sendo que o conjunto mola e amortecedor não aparece pois está acoplado à manga de eixo por uma barra que direciona o movimento da suspensão ao interior da carroceria, onde o conjunto está localizado. Isto se deve à necessidade de diminuição do arrasto aerodinâmico anteriormente causado por estes componentes e pela diminuição de peso da massa não suspensa, uma vez que as molas e os amortecedores utilizados neste caso passam a fazer parte da massa suspensa do veículo. Além disso, contribuem na diminuição do peso total do veículo, pois são menores do que se estivessem diretamente aplicados nas bandejas da suspensão.

2.3

Escolha de rodas e de pneus

Pela concepção atual que se tem de automóvel, é sabido que os veículos possuem sua tração, sua dirigibilidade e sua sustentabilidade ocasionadas pela interação entre pneu-solo, isto é, desde que o veículo esteja apoiado sobre o solo no instante em estudo, as únicas forças externas, perturbadoras e de controle com exceção das forças aerodinâmicas são geradas ou estão relacionadas com o contato pneu-solo.

Por este motivo, todo projeto de veículo deve se iniciar com uma prévia concepção do tipo de emprego que se quer que ele desempenhe, da quantidade de carga que o veículo deve suportar, entre outros requisitos, de forma que se possa determinar qual será o tipo de pneu mais apropriado ao projeto.

Durante o estudo dos pneus, são verificadas as relações entre as forças e momentos resultantes que estão presentes no contato pneu-solo, a importância de cada uma delas e quais são as mais necessárias para uma primeira aproximação durante a fase inicial do projeto do veículo.

Este trabalho não irá tratar de todos os componentes do veículo de forma individual, mas devido à extrema importância e complexidade dos pneus para o projeto do automóvel, este componente merece especial atenção e por isso tem este capítulo dedicado somente a ele e sua fixação no veículo.

O pneu pode ser descrito como uma forma toroidal, não rígida, formada de várias camadas de borracha, de lonas esticadas e de cordões de aço, formando uma carcaça flexível de alta resistência à tração e uma região praticamente sólida que promove a ancoragem aos aros da roda e o ideal isolamento do ar entre o pneu e a roda, capaz de suportar a pressão adequada que tencione a estrutura de tal maneira que qualquer força externa que cause deformação na carcaça gera uma força de reação no pneu no contato pneu-solo.

Diante do exposto, pod-se perceber que as funções do pneu, no veículo, são:

- suportar as cargas verticais
- absorver os choques provenientes destas cargas verticais, impostas pelo pavimento

- desenvolver força lateral
- desenvolver as forças de tração e frenagem.

Ao iniciar o projeto do veículo, devem-se verificar os requisitos que são relevantes para a seleção do pneu mais adequado, de forma a atender as necessidades do cliente. O primeiro passo é identificar o emprego geral do veículo, se é um veículo para uso fora de estrada (off-road) ou para uso predominantemente sobre o asfalto (on-road) e se é para uso cotidiano ou para corridas.

Os fabricantes de pneus geralmente dividem sua gama de produtos em pneus do tipo on-road e off road para veículos de passeio, utilitários e caminhões. Além disso, existem os casos em que os pneus são encomendados para uso específico em competições, como nos veículos de Fórmula 1 ou são de séries especiais como os do Kart.

Qualquer que seja o requisito, a estrutura básica do pneu é bastante parecida, sendo apresentados em dois tipos, classificados em convencional (bias-ply) e radial-cinturado (radial belted), que na atualidade é conhecido apenas como radial.

Na escolha do pneu, existe a possibilidade de optar por pneu com câmara ou sem câmara. Durante vários anos, a indústria utilizou o pneu para uso com câmara. Atualmente, tem-se mostrado uma maior utilização do pneu sem câmara, principalmente devido ao conforto, relacionado à absorção dos choques e ao avanço tecnológico em relação aos materiais e componentes do pneu.

O próximo passo na escolha do pneu é a capacidade de carga que ele deve suportar. Variando a pressão interna do pneu é alterada a capacidade de carga que ele pode suportar dentro da eficiência de suas funções, entretanto há um valor limite de carga para cada pneu. A pressão interna do pneu é o fator predominante no comportamento carga x deflexão. A deflexão é normalmente apresentada como um percentual que é a razão entre a deflexão real e a altura da seção do pneu. Para pneus convencionais, a deflexão varia entre 12 a 14 por cento e para pneus radiais estes valores podem ser acrescidos de mais 1 a 3 por cento.

Na seleção do pneu, deve-se tomar o cuidado de verificar a sua temperatura de utilização. Elevadas deflexões podem ocasionar uma elevada geração de calor,

podendo eventualmente resultar na falha do material. Então, os fatores velocidade e distância de utilização se tornam fundamentais para a seleção do pneu, pois afetam a capacidade de carga através da geração de calor. Geralmente, a distância deve ser tomada como um valor não controlável e o calor gerado pela deflexão deve ser equilibrado com a razão de resfriamento do pneu em contato com o ar, o qual em movimento executa uma convecção forçada, além do calor que é conduzido para a roda.

O gráfico de variação da deflexão do pneu em relação aos parâmetros de carga e pressão interna deve ser analisado na determinação do raio dinâmico do pneu de acordo com as cargas de utilização que lhe serão impostas. Os fabricantes de pneu mostram estes gráficos de acordo com o peso suportado pelo pneu, que é uma parcela do peso do veículo.

A nomenclatura do pneu possui várias informações em forma de código. Por exemplo, na nomenclatura métrica, um pneu P 175x70 R13 82S é compreendido da forma seguinte: O P significa “Passeio”. O primeiro número, 175, indica a largura do pneu, em milímetros. O número 70 indica o perfil do pneu, que é o percentual relativo à largura. Ou seja, pneu do exemplo tem a altura equivalente a 70% da largura (122,50 mm). Quanto menor esse número, menos é a altura do pneu dada uma mesma largura.

| IC | kg | IC | kg | IC | kg | IC | kg | IC | kg | IC | kg |
|----|------|----|------|----|------|----|-----|-----|------|-----|------|
| 0 | 45 | 10 | 60 | 20 | 80 | 30 | 106 | 40 | 140 | 50 | 190 |
| 1 | 46.2 | 11 | 61.5 | 21 | 82.5 | 31 | 109 | 41 | 145 | 51 | 195 |
| 2 | 47.5 | 12 | 63 | 22 | 85 | 32 | 112 | 42 | 150 | 52 | 200 |
| 3 | 48.7 | 13 | 65 | 23 | 87.5 | 33 | 115 | 43 | 155 | 53 | 206 |
| 4 | 50 | 14 | 67 | 24 | 90 | 34 | 118 | 44 | 160 | 54 | 212 |
| 5 | 51.5 | 15 | 69 | 25 | 92.5 | 35 | 121 | 45 | 165 | 55 | 218 |
| 6 | 53 | 16 | 71 | 26 | 95 | 36 | 124 | 46 | 170 | 56 | 224 |
| 7 | 54.5 | 17 | 73 | 27 | 97.5 | 37 | 127 | 47 | 175 | 57 | 230 |
| 8 | 56 | 18 | 75 | 28 | 100 | 38 | 130 | 48 | 180 | 58 | 236 |
| 9 | 58 | 19 | 77.5 | 29 | 103 | 39 | 133 | 49 | 185 | 59 | 243 |
| 60 | 250 | 70 | 335 | 80 | 450 | 90 | 600 | 100 | 800 | 110 | 1060 |
| 61 | 257 | 71 | 345 | 81 | 462 | 91 | 615 | 101 | 825 | 111 | 1090 |
| 62 | 265 | 72 | 355 | 82 | 475 | 92 | 630 | 102 | 850 | 112 | 1120 |
| 63 | 272 | 73 | 365 | 83 | 487 | 93 | 650 | 103 | 875 | 113 | 1150 |
| 64 | 280 | 74 | 375 | 84 | 500 | 94 | 670 | 104 | 900 | 114 | 1180 |
| 65 | 290 | 75 | 387 | 85 | 515 | 95 | 690 | 105 | 925 | 115 | 1215 |
| 66 | 300 | 76 | 400 | 86 | 530 | 96 | 710 | 106 | 950 | 116 | 1250 |
| 67 | 307 | 77 | 412 | 87 | 545 | 97 | 730 | 107 | 975 | 117 | 1285 |
| 68 | 315 | 78 | 425 | 88 | 560 | 98 | 750 | 108 | 1000 | 118 | 1320 |
| 69 | 325 | 79 | 437 | 89 | 580 | 99 | 775 | 109 | 1030 | 119 | 1360 |

Tabela 2.03 – Índices de Carga utilizados em pneu

Finalmente, o “S” é o símbolo de velocidade. Os pneus são projetados para rodar até determinadas velocidades, sem comprometer aqueles três aspectos. Acima desse limite sua estrutura pode sofrer alterações e há riscos de um acidente. Os códigos são os mostrados na tabela 2.03:

| Símbolo | Velocidade máxima |
|---------|-------------------|
| N | 140 km/h |
| P | 150 km/h |
| Q | 160 km/h |
| R | 170 km/h |
| S | 180 km/h |
| T | 190 km/h |
| U | 200 km/h |
| H | 210 km/h |
| V | 240 km/h |
| W | 270 km/h |
| Y | 300 km/h |
| Z | Acima de 240 km/h |

Tabela 2.04 – Índices de velocidade utilizados em pneu

Depois de definido o pneu ou a gama de pneus a serem utilizados, devem ser obtidos com o fabricante as diversas curvas de constante de mola. O pneu possui como características de sua utilização a constante de mola radial, a constante de mola tangencial e a constante de mola lateral.

A constante de mola radial é fundamental para o resultado no conforto dos tripulantes. Este efeito diminui a sensação das pequenas irregularidades do solo. Como uma primeira aproximação, com erro de 20% de seu valor, pode-se estimar a constante de mola radial pela fórmula:

$$K_p = 780 + 0,5 L + 45 (P - 28)$$

Onde,

K_p – constante de mola radial – lb/in

L – carga de trabalho do pneu - lb

P – pressão interna – lb/in²

Diferentemente do comportamento de mola radial descrito, existe a função básica do pneu que é o chamado envolvimento. O envolvimento consiste na absorção de uma parcela do movimento vertical ocasionado pelas irregularidades do solo que são de maior amplitude, quando o veículo se movimenta em maiores velocidades.

A diferença entre as propriedades do envolvimento e da constante de mola está no formato da superfície onde o pneu é carregado. A reação do pneu para uma superfície descrita em duas dimensões quais são largura e comprimento está relacionada com a constante de mola enquanto a terceira dimensão ocasionada pela diferença de altura do solo é compreendida pelo envolvimento.

A constante de mola lateral é responsável pela dinâmica direcional do veículo. A constante de mola tangencial é responsável pelas cargas impostas pela aceleração e frenagem do veículo.

O pneu, assim como a geometria da suspensão, é um item fundamental para o desempenho do veículo.