

## INTRODUÇÃO

A indústria automobilística foi marcada por inovações ao longo de mais de um século de evolução. Mas em seu início, estas inovações, de certa forma, eram ocasionadas por muito empirismo. A corrida pelo mercado e as competições automobilísticas ocasionaram o avanço do emprego de novas tecnologias e os engenheiros começaram a criar procedimentos de cálculo para prever a dinâmica veicular e seu desempenho, tentando diminuir os erros e redundâncias de projeto, intrínsecos ao empirismo. Hoje em dia, temos uma bibliografia relativamente vasta em relação aos termos, componentes e sistemas do automóvel. Porém, os sistemas são geralmente tratados de forma individual e dificilmente vemos na literatura uma correlação entre os sistemas e os procedimentos relevantes ao planejamento do projeto de uma suspensão. Desta forma, a seqüência das etapas a serem adotadas durante o projeto de uma nova suspensão não fica explícita para o projetista.

As montadoras, por sua vez, tratam como segredo os detalhes dos procedimentos por elas adotados durante a execução de um projeto de suspensões. Quando são questionadas sobre o assunto, geralmente o procedimento não é passado como um todo, mas apenas algumas de suas etapas. Quanto ao aspecto técnico do projeto, na maioria das vezes, a equipe de projeto recebe informações de outras equipes tais como, as de carroceria, motor, freios, entre outras e apenas agregam estes valores fornecidos a uma planilha ou a algum programa do tipo “caixa-preta”, geralmente adquirido no mercado. Com os avanços dos sistemas computacionais, equipamentos modernos e cada vez mais velozes em termos de processamento permitiram o surgimento de métodos numéricos que possibilitassem as simulações computacionais de modelos complexos de veículos e a obtenção de melhores resultados que os encontrados a partir dos modelos analíticos, já que estes, usualmente, necessitam de uma série de linearizações, ou seja, aproximações para a determinação de suas soluções.

No aspecto gerencial, o ciclo de vida de um projeto de suspensões pode ser interpretado da mesma forma como o aspecto gerencial de qualquer projeto de engenharia, bastando ter associado a este a visão do produto e suas particularidades. Estas particularidades serão tratadas neste trabalho. De uma forma genérica, o procedimento de projeto de engenharia pode ser acompanhado de acordo com o tratado no guia PMBOK [14] de gerenciamento de projetos.

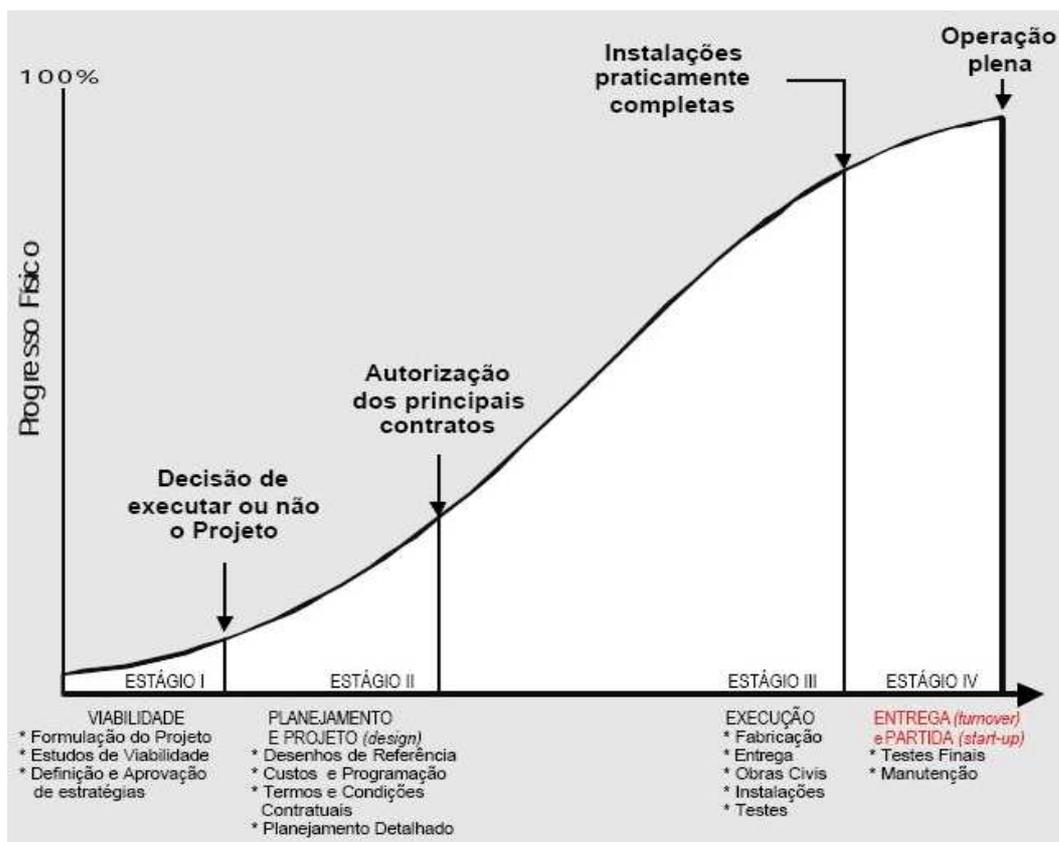


Figura 1.01 – Ciclo de vida de um projeto de construção (PMBOK) – [14]

De acordo com o mostrado na figura 1.01 acima, o estágio I é identificado pelas necessidades do projeto até a fase de análise da viabilidade técnico-econômica do mesmo. O estágio II é onde ocorre o detalhamento do projeto, podendo ter início com o projeto básico e com o(s) contrato(s), seguindo com a elaboração de desenhos técnicos, execução de análises cinemática, dinâmica e funcional, seleção de componentes, acompanhamento dos custos e da programação. No estágio III é realizada a execução física do projeto, ou seja, a criação do protótipo e no estágio IV são realizados os testes de validação do protótipo que resultam em documentos de homologação.

## 1.1

### Origem da suspensão automotiva

Para entender o principal objetivo de um projeto de suspensões, é interessante primeiramente saber um pouco mais sobre sua origem, sobre o papel que este sistema representa para o veículo e, identificar os seus componentes fundamentais.

O automóvel e seu sistema de suspensão têm origem nas carroças puxadas por animais. Durante o Império Romano, as rodas das carroças eram rígidas e sem movimento de translação em relação à carroceria em que todas cargas eram transmitidas diretamente do piso aos tripulantes.

Em seguida foi criado um sistema que tinha as rodas rígidas, acopladas ao veículo com o uso de um conjunto equivalente ao de feixe de molas. Neste caso, com o veículo em movimento, os tripulantes podem sentir ainda grande parte da excitação de base causada pelo terreno, sendo, entretanto, de menor amplitude comparada à inexistência dos feixes de mola.

Por outro lado, pode-se fazer a análise de um veículo que tenha as suas rodas com pneus e rigidamente presas ao habitáculo do motorista, sendo-lhes permitido apenas o movimento de rotação em seus respectivos eixos centrais. Neste caso, as irregularidades do solo são transmitidas aos pneus na forma de aceleração da camada mais externa dos pneus, os quais estejam em contato com o solo. Esses pneus, por sua vez, possuem comportamento simultâneo de mola e amortecedor, e retiram grande parte dos esforços dinâmicos ocasionados pelo contato entre os pneus e o solo que são geradas pelas excitações de base de menor amplitude, transmitindo às rodas a maior parte dos esforços causados pela maior amplitude da excitação de base. Ao receber esses esforços dinâmicos, as rodas irão transmití-los diretamente para o habitáculo, uma vez que o veículo não possui um mecanismo que seja capaz de dispersar a energia gerada. Desta forma, a tripulação sentirá com grande intensidade as acelerações verticais impostas ao veículo pelo contato irregular com o solo.

Para diminuir essas acelerações no habitáculo do motorista, o sistema de suspensão deve suprimir ao máximo a energia gerada pelas excitações de base, de

alta frequência e baixa amplitude, no caso dos pneus e de baixa frequência e alta amplitude, no caso das molas e amortecedores, sendo a construção destes componentes de acordo com o tipo de emprego que será submetido o automóvel.

O sistema de suspensão automotiva é essencialmente o sistema de união entre o habitáculo e o meio que proporciona a sua tração. Na enciclopédia Wikipedia, encontramos a seguinte definição para a suspensão automotiva: “Suspensão é um conjunto de peças que adequa a transmissão de energia da excitação de base (uma lombada, por exemplo) e a capacidade de aderência do veículo ao solo.”

É feito por um conjunto de mola e amortecedor. O conjunto suspensão pode ser considerado como um filtro mecânico, pois pode permitir ou rejeitar faixas de frequências do espectro da excitação do solo. Por isso, carros fora de estrada e urbanos possuem características díspares quanto ao desempenho. É pertinente ressaltar que o primeiro, em geral, possui exigências maiores quanto às solicitações mecânicas, tornando o projeto de suspensão mais restritivo.

Há molas de vários tipos: de feixe e a ar, que são utilizadas geralmente em caminhões; mola em espiral, usada tanto na suspensão dianteira como traseira; e mista - espiral na frente e feixe atrás. E ainda o tipo de torção, constituído por um feixe de lâminas, que absorvem os impactos deformando-se.

## 1.2

### **Projeto de suspensão**

Primeiramente, é avaliada a necessidade de determinado produto através da realização de um estudo de mercado ou pelo pedido de um cliente. Uma vez confirmada a necessidade, é realizada a 1ª reunião de engenheiros responsáveis pelo *design* do veículo, juntamente com engenheiros responsáveis pelos diversos sistemas do veículo. São confeccionados protótipos na área de estilo, para que os engenheiros tenham a noção da estética do veículo e de algumas dimensões preliminares. Geralmente, esta é a área de maior segredo dentro do ramo

automobilístico, pois define como será o aspecto dos veículos muitos anos antes de sua produção.

Passada esta primeira fase, as diversas áreas utilizam softwares para desenho (CATIA, AUTOCAD etc) e outros para posterior análise estrutural das partes (software NASTRAN). Ainda nesta fase, as partes são analisadas simultaneamente e em conjunto, através de grande interação entre os grupos, somente possível por meio de uma estrutura matricial. Um processo de tentativas e erros é iniciado até que o projeto esteja suficientemente “maduro” e não apresente falhas estruturais nos componentes. O último teste desta fase é feito submetendo todo o veículo desenhado a uma pista virtual, simulando o teste em uma pista de durabilidade que existe. Após esta etapa virtual o primeiro protótipo para utilização da engenharia pode ser construído.

Ao ser construído o protótipo para engenharia, é verificado se suas peças poderão facilmente ser fabricadas em uma linha de montagem, bem como são vistas as dificuldades do montador. A prototipagem rápida normalmente é utilizada nesta fase, para que não haja gastos desnecessários com tempo e material para confecção de ferramentas necessárias a montagem do protótipo. Depois de construído, este protótipo é submetido às pistas de durabilidade, onde todas as suas partes devem rodar uma quilometragem definida pela empresa (por exemplo, 60.000 km). Existem peças do veículo que falham mesmo após passarem pelo processo virtual. Estas peças são analisadas e seu erro provável é corrigido. Geralmente, não há mais tempo para que uma peça que falhe nos testes de durabilidade rode de novo a quilometragem estipulada, tendo como única solução terminar o teste em um sistema de utilização acelerada do veículo, que consiste em uma série de atuadores fluido-dinâmicos que apóiam as rodas simulando os testes de uma pista de durabilidade, de acordo com os sinais colhidos na mesma.

Depois da pista de durabilidade tradicional, o veículo pode ser ainda levado para uma pista de durabilidade mais rigorosa, onde é necessária a rodagem de uma quilometragem bastante inferior, pois seus sinais causam maior frequência e amplitude na excitação de base.

Como última fase, é fabricado o protótipo que visa a linha de montagem. Nesta fase, o protótipo montado já tem que estar com todas as suas peças

homologadas e documentadas. Todo o ferramental necessário para a fabricação das mesmas já tem que estar pronto. Este protótipo será usado como modelo para treinamento do pessoal da linha de montagem e para futura comparação com os veículos que sairão da linha.

### 1.3

#### Revisão bibliográfica

Nesta seção, são apresentadas as obras que possuem maior relação com o escopo do presente trabalho, bem como um resumo das informações mais relevantes obtidas destas, consultadas ao longo do desenvolvimento deste estudo.

O *Project Management Body of Knowledge*, também conhecido como PMBOK® [14] é um conjunto de práticas em gerência de projetos levantado pelo Project Management Institute (PMI) e constitui a base da metodologia de gerência de projetos do PMI. Estas práticas são compiladas na forma de um guia, chamado de Guia do Conjunto de Conhecimentos em Gerenciamento de Projetos, ou Guia PMBOK. Este guia identifica os subconjuntos do conjunto de conhecimentos em gerenciamento de projetos, amplamente reconhecido como boa prática na maioria dos projetos. Também fornece e promove um vocabulário comum para se discutir, escrever e aplicar o gerenciamento de projetos, possibilitando o intercâmbio eficiente de informações entre os profissionais de gerência de projetos.

PRADO [15] relaciona as fases de um projeto e define a relação entre gerenciamento do projeto e gerenciamento do produto. Apresenta o assunto Planejamento e Controle de Projetos e uma metodologia estruturada de gerenciamento cuja aplicação abrange a maioria dos projetos existentes.

OKABE [12] descreve parte do desenvolvimento do projeto de suspensões para um veículo, iniciando com a pesquisa do mercado. Em seguida utiliza o Desdobramento da Função Qualidade (QFD) para adequar o planejamento do projeto aos requisitos dos consumidores. Apresenta o método de Taguchi e sua função “Perda de Qualidade”. Definidos os requisitos, Okabe monta três sistemas de suspensão em meio virtual e faz uma comparação entre estes utilizando o

método de Taguchi para determinação da melhor opção a ser utilizada no veículo em questão.

STANIFORTH [20] apresenta uma visão bastante prática quanto as fases do projeto de um veículo de corrida, abrangendo principalmente o conceito técnico do sistema de suspensão e de seus componentes. Apresenta ainda cálculos que possibilitam selecionar alguns destes componentes e identificar o tamanho e localização dos braços da suspensão. Sua obra segue certa ordem cronológica em termos de componentes, deixando claro quais são prioritários e devem ser definidos primeiro no caso do veículo de competição de corridas.

*O Livro do Automóvel* [11] mostra visão bastante didática sobre as principais partes de um automóvel, entre elas a suspensão. Nesta parte da obra, apresenta os sistemas de suspensão mais utilizados em projetos de veículos, fazendo sua classificação quanto a existência de eixo rígido ou suspensão independente e mostra ainda alguns tipos de suspensão que deixaram de ser empregados, explicando o motivo. O livro, além de explicar os sistemas, possui visão voltada para a manutenção dos veículos de sua época, visto que é uma obra da década de setenta.

GILLESPIE [7] trata vários assuntos relacionados ao automóvel, mas seu maior foco é a didática relativa à dinâmica do veículo. Trata de carregamentos, performances na aceleração e frenagem dirigibilidade e em seguida trata os sistemas de suspensão e direção separadamente, apresentando informações didáticas, com bom conteúdo teórico. Por último trata da rolagem lateral e de pneus. É uma referência no meio acadêmico que trata de automóveis, pela gama de informações contidas nesta obra.

GWIZDON [8] descreve de forma simples, bastante abrangente e cronológica as fases do projeto de suspensão de um veículo pequeno, no caso um comutador solar, passando pela seleção das suspensões a serem utilizadas, a transferência de peso longitudinal e lateral, o projeto e seleção de componentes da suspensão e vários apêndices onde são mostrados os cálculos realizados.

As outras obras verificadas nesta literatura tratam de assuntos específicos, de forma mais criteriosa, ou seja, dentro da cronologia do projeto podem ser pesquisadas.

## 1.4

### **Relevância e contribuição deste trabalho**

O presente trabalho possui como objetivo a visualização das fases macro do projeto de suspensão automotiva, sendo executado dentro do projeto de um automóvel ou apenas na modificação de um sistema de suspensão já existente no veículo.

Uma vez que cada montadora trata seu procedimento de forma sigilosa e particular, de acordo com os princípios de gestão da empresa, o presente texto, encontra-se estruturado como um caminho que servirá como guia durante a execução de um projeto de suspensão automotiva, sabendo que o mesmo é realimentado com informações posteriores, como será visto.

Também reúne conceitos básicos dos aspectos técnicos e gerenciais do projeto, tornando possível a visão global e a correlação entre os vários assuntos relativos à execução de um projeto de suspensão de automóvel, apresentando trabalhos existentes nas diversas áreas.

## 1.5

### **Organização do trabalho**

Este trabalho está desenvolvido em 10 (dez) capítulos e 3 (três) apêndices:

a) capítulo 1 (Introdução) - são apresentados alguns aspectos motivadores do trabalho, o seu posicionamento na linha de pesquisa desenvolvida e a organização do trabalho;

b) capítulo 2 (Projeto conceitual) – são apresentados os métodos de iniciação de um projeto de suspensão e os tipos de suspensão que são mais empregados;

c) capítulo 3 (Definição da geometria) – são apresentadas características geométricas da suspensão e relações existentes entre estas. Também é descrita uma seqüência a ser executada para o início do trabalho de definição da geometria;

d) capítulo 4 (Análise estática) – neste capítulo são tratados os métodos relativos à distribuição de peso, posição da mola e amortecedor e o dimensionamento da mola;

e) capítulo 5 (Análises estática e dinâmica) – são tratados os movimentos do mecanismo de suspensão e das dinâmicas longitudinal, transversal e vertical do veículo;

f) capítulo 6 (Análise dimensional) – são tratados os assuntos relacionados à análise estrutural para o dimensionamento dos componentes da suspensão.

g) capítulo 7 (Protótipo funcional) – são tratados os métodos de prototipagem da suspensão estendendo-se ao veículo;

h) capítulo 8 (Análise experimental) – são tratados os testes e os sistemas de instrumentação que podem ser empregados na homologação do sistema.

i) capítulo 9 (Trabalhos futuros) – são apresentadas conclusões sobre o trabalho e algumas propostas de sugestões para trabalhos futuros;

j) capítulo 10 (Referências bibliográficas);

k) apêndice 1 – Requisitos técnicos básicos - modelo;

l) apêndice 2 – Anteprojeto - modelo;

m) apêndice 3 – Estudo de viabilidade técnico-econômica - modelo;