

Capítulo 1

INTRODUÇÃO

1.1 - Generalidades

Os primeiros automóveis surgiram por volta do fim do século XIX, em função do desenvolvimento dos motores de combustão interna, e muito se pareciam com as carruagens predecessoras. Por um longo período, as suspensões se mantiveram com eixos rígidos dianteiros e traseiros e um sistema de amortecimento utilizando geralmente feixes de molas elípticas. Um breve histórico feito por Dixon (1996), relata que a partir dos estudos de Langensperger, Ackerman patenteou em 1817 o sistema de direção no qual as rodas são mantidas perpendiculares aos seus arcos de movimento. Lanchester em 1907 introduziu o termo “sobre-esterço” em suas publicações. Um marco importante no avanço dos estudos sobre a análise cinemática do *Handling*, considerando as forças laterais e ângulos de deriva, é atribuído a Georges Broulhiet (1925) através de suas publicações denominadas *envirage*.

A partir de 1930 ocorreram numerosos avanços nos estudos, podendo ser citados os trabalhos de Bradley e Allen (1930), sobre as propriedades do atrito sobre as superfícies das estradas; o estudo sobre as vibrações dos sistemas de direção por Becker (1931); e os modelos de suspensão independente apresentados por Broulhiet em 1933.

Entre 1937 e 1938, Bastow apresentou trabalhos sobre o efeito de *roll* no esterçamento de suspensões independentes e, Olley apresentava estudos detalhados sobre o comportamento de *handling*, incluindo análise de velocidade, acelerações laterais e trajetórias percorridas. Os trabalhos publicados por Milliken, Segel e Whitcomb entre 1956 e 1957 desenvolvem a teoria de controle linear para análise das respostas em frequência. Estes estudos abrangem a faixa correspondente à dirigibilidade normal, com as acelerações laterais limitadas até 3 m/s^2 (0,3 g) e regime de respostas lineares aos comandos.

A partir de então são estudados os comportamentos com elevadas acelerações laterais, que requerem análises não lineares, inclusive incluindo o motorista no controle do veículo, gerando os estudos em regime retroalimentado (*closed-loop*), além dos até então sistemas abertos (*open-loop*), onde só as reações do veículo eram consideradas.

1.2 - Handling e Conforto

Segundo Gillespie (1992), *handling* é o termo usado para definir as respostas do veículo aos comandos do motorista e sua facilidade de ser controlado, e representando principalmente as suas movimentações laterais. Durante a fase de testes e ajustes de comportamento do veículo, podem ser alteradas as características dos componentes da suspensão como, por exemplo, as molas, amortecedores, barras estabilizadoras, ângulos geométricos da suspensão e relação de redução da caixa de direção. Na Figura 1.1 é mostrada a representação dos eixos coordenados do veículo conforme norma ISO 4130, que é utilizada para representar os movimentos nas várias direções.

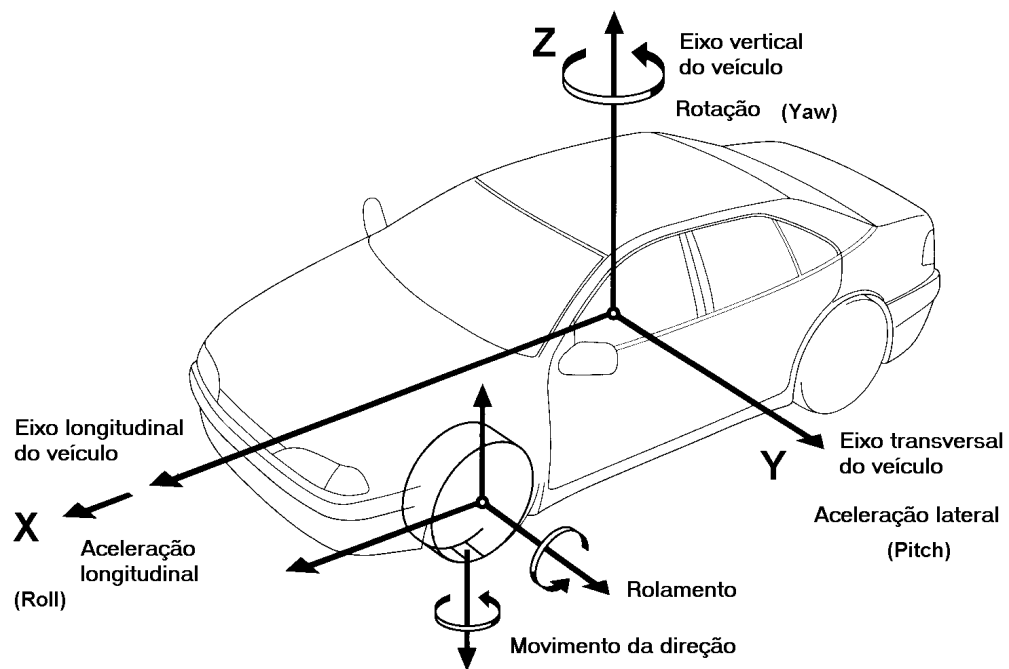


Figura 1.1 Sistema de eixos coordenados conforme ISO 4130 e DIN 70000.

As provas de *handling* do veículo estão também intimamente ligadas às avaliações de vibração e conforto interno para os passageiros, de modo que a configuração final do conjunto da suspensão possa proporcionar segurança e conforto de modo balanceado para cada tipo e uso do veículo. A suspensão tem o objetivo básico de garantir o contato entre o pneu e a pista e deve fazê-lo adequadamente, absorvendo as oscilações e vibrações, com respostas suaves aos comandos do motorista sobre o volante, dentro dos níveis de tolerância a acelerações suportadas pelo ser humano e sua capacidade de reação a movimentos imprevistos ou alternados.

Do ponto de vista da abordagem do conforto Reimpell (1996) considera a faixa de 1 a 80 Hz como sendo a mais crítica com relação ao conforto, dividindo de 1 a 4 Hz para o *ride comfort*, e acima de 4 Hz para o *road harshness*.

A sensibilidade humana é capaz de perceber de modo audível excitações de 20 a 20.000 Hz. Para a maioria dos automóveis de passageiros, o limite superior da faixa de vibrações críticas está situada até 25 Hz.

Visando diminuir os efeitos negativos das acelerações no ser humano, podem ser utilizadas suspensões mais macias, com amortecedores com menor carga, e molas com menor rigidez. Por sua vez, maior flexibilidade implica em maior amplitude de movimentação da carroceria, entre eles, movimento de rolamento e *pitch*, que prejudicam o *handling* e a estabilidade em curvas e pisos irregulares.

Conforme levantamentos realizados pela SAE (1976) sobre tolerância humana às vibrações, o corpo humano tem o seu nível mais sensível entre 4 e 8 Hz no sentido vertical devido à ressonância da cavidade abdominal, melhorando até atingir a frequência de 1 Hz com maior nível de tolerância, que é aproximadamente a frequência natural de caminhada. Por este motivo, a grande maioria dos veículos de passageiros tem a frequência natural da massa suspensa ajustada para a faixa entre 1 e 1,5 Hz (Bastow e Howard, 1997). Para as vibrações longitudinais evidencia-se a faixa de 2 Hz como as mais indesejadas.

1.3 - Objetivos e Escopo

O objetivo principal do trabalho é fazer um estudo do comportamento dinâmico do veículo baseado nos dados obtidos experimentalmente em manobras padronizadas de mudança de direção partindo de velocidades constantes. As características básicas da geometria e comportamento também são comparadas às recomendadas na literatura atual. Na revisão bibliográfica são analisados um número maior de sistemas do veículo em relação aos que foram objeto da parte experimental. Isto se deve ao fato de o veículo ser um sistema complexo com vários graus de liberdade e tendo ainda a participação subjetiva do motorista. O conhecimento prévio de um número maior de variáveis que afetam a dinâmica de comportamento e as potencialidades de participação nos resultados destes sistemas torna-se portanto importante. Outro aspecto relevante é a sistematização de uma metodologia experimental para caracterizar graficamente as reações do veículo em função dos comandos do motorista utilizando uma instrumentação relativamente simples. As provas foram executadas em um mesmo veículo, alterando-se individualmente e em grupo as características de componentes da suspensão, e avaliando o comportamento de respostas do mesmo.

Os trabalhos mais recentes neste campo de pesquisa visam conhecer o comportamento dinâmico do veículo e partir para o desenvolvimento de sistemas eletro-mecânicos de gerenciamento ativo das reações do veículo, visando auxiliar o motorista em condições adversas de estabilidade e controle, aumentando o nível de segurança. Já são disponíveis em veículos de passeio de produção seriada controladores eletrônicos de estabilidade como, por exemplo, o ESP da Robert Bosch, atuando ativamente no sistema de freios e controle motor.

Um outro aspecto importante é o fato de a indústria automobilística atualmente trabalhar no projeto de famílias de automóveis, onde uma plataforma comum serve de base para o desenvolvimento de versões *hatch*, sedãs, familiares ou *station wagons*, e também caminhonetes. Sob este aspecto, torna-se importante o conhecimento do comportamento de uma versão base, a partir da qual são feitos os ajustes da suspensão, direção e pneus para as diversas outras. Este conhecimento prévio resulta na racionalização e redução do tempo para o acerto destas versões sucessivas.

Deste modo, dividiu-se o trabalho da seguinte maneira:

O capítulo 2 apresenta uma revisão bibliográfica dos sistemas de suspensão mais utilizados nos modernos automóveis, as características construtivas dos principais componentes envolvidos, assim como as características geométricas e dinâmicas desejáveis para que os veículos possam ter um comportamento seguro e confortável.

O capítulo 3 aborda a metodologia para a realização das provas, detalhando as características técnicas dos instrumentos e aparelhos utilizados e mostrando os parâmetros objetivos que serão estudados.

O capítulo 4 descreve o procedimento experimental adotado, as manobras dinâmicas realizadas, as características técnicas do veículo de testes utilizado no experimento e a relação dos componentes substituídos.

No capítulo 5 são apresentados e discutidos os resultados obtidos nas provas e verificando a coerência com a teoria disponível e características desejáveis.

O capítulo 6 expõe as conclusões, mostrando que o estudo e compreensão das características geométricas básicas e avaliações dinâmicas de comportamento, são fundamentais para as escolhas de acerto da suspensão, servindo inclusive de base para o desenvolvimento dos sistemas eletrônicos de gerenciamento das suspensões.

O apêndice A contém o método de cálculo do centro de gravidade; o apêndice B mostra as equações para análise dos efeitos “Anti” movimentação da massa suspensa e o cálculo destas características para o veículo de provas; no apêndice C são calculadas as frequências naturais não amortecidas da suspensão; no apêndice D são mostradas as características de um aparelho de medição de atitudes do veículo; o apêndice E mostra dois gráficos com todos os dados registrados durante duas provas; e o anexo A apresenta as tabelas de dados obtidos em uma única prova.