

2.6 - Avaliação Dinâmica de Comportamento

2.6.1 - Relação Veículo / Motorista e Testes

Quando é analisado o desempenho global do veículo, o movimento desenvolvido por este depende da interação do sistema completo motorista-veículo, chamado de sistema fechado. Isto quer dizer que o motorista ao mesmo tempo que impõe manobras desejadas, “percebe de volta” sensações sobre a movimentação do veículo e continuamente corrige a trajetória. No entanto, grande parte da teoria do comportamento do veículo durante manobras é analisada levando em consideração as chamadas funções de transferência do veículo, onde são analisadas somente as respostas a comandos padronizados e trabalhadas as características construtivas da geometria definidas inicialmente a projeto. As mais importantes foram apresentadas e discutidas nas seções anteriores deste capítulo.

Na análise do sistema fechado torna-se difícil definir objetivamente as especificações das qualidades de um bom comportamento de direcionalidade, segurança, rapidez e precisão de respostas. Um dos aspectos é a enorme variedade de situações a que o veículo está submetido durante o seu uso. Outro é o fato de que o motorista pode ser considerado como uma função de transferência de informações altamente complexa, variável entre pessoas diferentes, dependentes das condições físicas e psicológicas do momento e também com grande capacidade de adaptação. Enquanto está dirigindo, o motorista utiliza-se de seus sentidos como a visão, audição, esforço físico aplicado sobre o volante, percepção de acelerações longitudinais e laterais e também forças aplicadas com os pés sobre os pedais.

As sensações dos motoristas são percebidas e transmitidas ao cérebro e então as reações dos músculos são ativadas, gerando um tempo de retardo. Pesquisas mostram que os tempos de reação a situações diversas variam de 0,15 a 1,0 segundo. Para a realização de uma freada de emergência ou desvio de trajetória, a pessoa gasta 0,5 segundo para o reconhecimento e outros 0,5 para ativar os músculos.

Os testes padronizados com medições objetivas são muito variados, dependendo de cada fabricante. Entre os mais importantes estão a capacidade de realizar curvas com raios e velocidade padronizadas, mudança de trajetória, tempo para percorrer um determinado percurso, mudanças alternadas e contínuas de direção, etc. Alguns deles estão descritos em normas internacionais, como na ISO 4138 (Procedimento para testes circulares em regime de perturbações constantes), ou ISO 7401 (Manobras de esterçamento com movimentos sinusoidal, randômico, em graus ou pulsos).

Os testes sobre os veículos são realizados ao longo do desenvolvimento ou em situações específicas em veículos prontos e já comercializados com vários propósitos, como por exemplo, testar características definidas em projeto, testar modificações ou testar soluções propostas em teorias de otimização do comportamento geral do veículo. O último teste realizado durante a fase de desenvolvimento é o de submetê-lo a motoristas especializados em uma grande variedade de estradas, diferentes pisos e condições climáticas. As qualidades do veículo são analisadas em várias áreas do comportamento e este então é associado às características de geometria e componentes. Este teste tem a vantagem de ser uma boa aproximação do uso real, porém consome mais tempo e é recomendável que seja realizado por vários motoristas devido o seu caráter subjetivo.

Um aspecto importante a favor das avaliações subjetivas é o fato de que pequenas modificações de projeto que têm pouco efeito no comportamento teórico do veículo e nas medições objetivas, podem ser muito sensíveis para o motorista, fazendo a diferença entre uma boa ou ruim sensação de segurança e controle, principalmente em condições dinâmicas (Dixon, 1987).

2.6.2 - Respostas a Perturbações Constantes

A teoria do comportamento do veículo tem um propósito amplo de auxiliar no projeto e definições de soluções. O objetivo básico é o de analisar através de medições objetivas o comportamento em resposta aos comandos do motorista e também das perturbações ambientais, tais como a rugosidade e imperfeições das estradas ou ventos.

Utilizando a definição da SAE, entende-se por resposta a perturbação constante aquela na qual a resposta do veículo mantém-se inalterada ao longo de um longo período ou ao longo daquele no qual a perturbação também permanece inalterada. Como exemplos pode-se citar a realização de curvas de raio constante com velocidade constante, velocidade angular constante e aceleração lateral constante. Um vento lateral constante e uma inclinação lateral da estrada são exemplos de perturbações ambientais. Dentre estes, uma maior atenção é dada no estudo do comportamento durante a realização de manobras com velocidade e raio constantes.

O teste mais comum utilizado para avaliar as características do veículos nestas condições é o de percorrer um círculo de raio constante em várias velocidades. Este comportamento é traduzido em um gráfico de sub-esterço, conforme detalhado na seções 2.5.3 (Fig. 2.29), e 2.5.5 (Fig. 2.45). Os valores típicos para o gradiente de sub-esterço estão entre 2 e 5 graus/g nos carros americanos, e entre 1 e 3 graus/g nos europeus (Dixon, 1996). Basicamente este comportamento é dividido em três fases. A primeira é a chamada de *handling* primário, com acelerações laterais de até 0,3 g, cobrindo a região de respostas lineares e sem deformações de componentes elásticos. O *handling* secundário na segunda fase, com acelerações na faixa de 0,3 a 0,6 g, já representa uma região não totalmente linear para a qual a transferência de cargas nos eixos são significativas. A partir desta fase o equacionamento torna-se complexo, podendo ser simulado através de modelações numéricas e gráficos de ângulo de rolamento, acelerações, ângulos de sub-esterço e de atitude. Acima de 0,6 g, para a maioria dos veículos de passageiros, atinge-se o *handling* final, onde são somados os coeficientes de atrito dos pneus a esforços laterais, aos efeitos da fase anterior.

2.6.3 - Respostas a Perturbações Variáveis

Entende-se por perturbações variáveis aquelas em que os comandos impostos pelo motorista não são constantes no tempo, ocorrendo mudança de velocidade e raio das curvas. São também chamados de movimentos transientes provocados por perturbações temporárias.

Um típico teste de desempenho no qual é analisado o comportamento é o de mudança rápida de faixa de direção. É um teste recomendado para a avaliação de veículos completos em sistema fechado (motorista + veículo), adequado para comparação de mudanças na suspensão e pneus (Ellis, 1994).

O estudo de estabilidade após a ocorrência de uma perturbação passa pela análise de um sistema massa-mola conforme mostrado na Fig. 2.1 e cujo comportamento sucessivo pode ser um dos apresentados na Fig. 2.46.

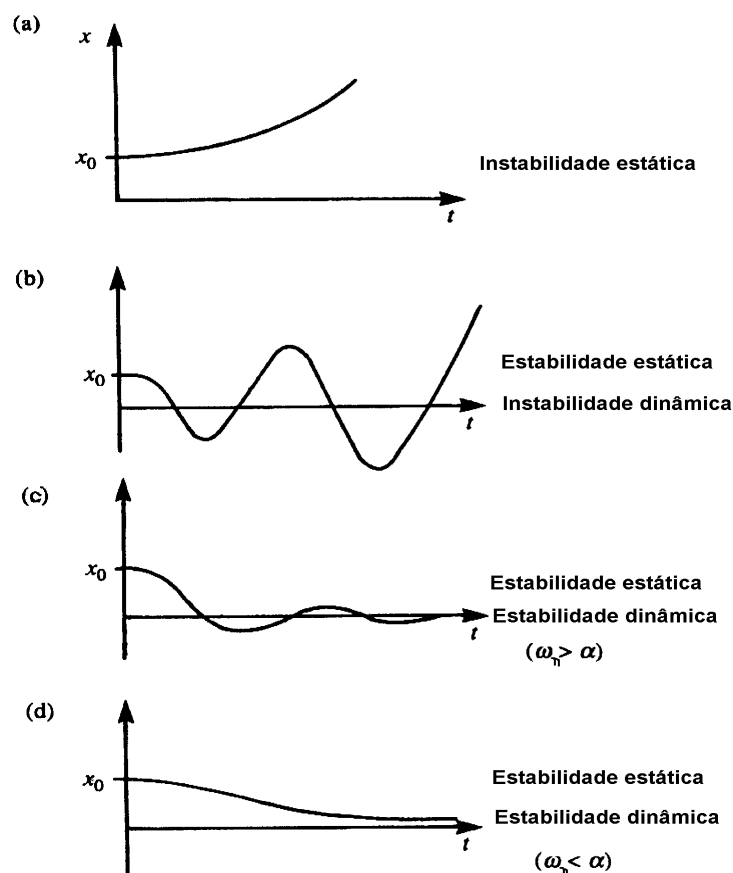


Figura 2.46 - Movimentos possíveis após um deslocamento de suspensão.

Um gráfico bastante representativo dos fenômenos de um sistema oscilatório de um grau de liberdade com amortecimento sujeito a uma força externa é o apresentado na Fig. 2.47, onde a relação de amplificação ($(X/(F_1/K_s))$) dependente

da relação de frequências forçada e natural (ω_f / ω_n) é representada para várias relações de amortecimento ζ_s . Da análise do gráfico visualiza-se que as frequências de ressonância ocorrem quando a relação ω_f/ω_n é igual a um. Os valores típicos de relação de amortecimento ζ_s para automóveis estão entre 0,2 e 1,0. A frequência natural está em torno de 6 rad/s (1 Hz).

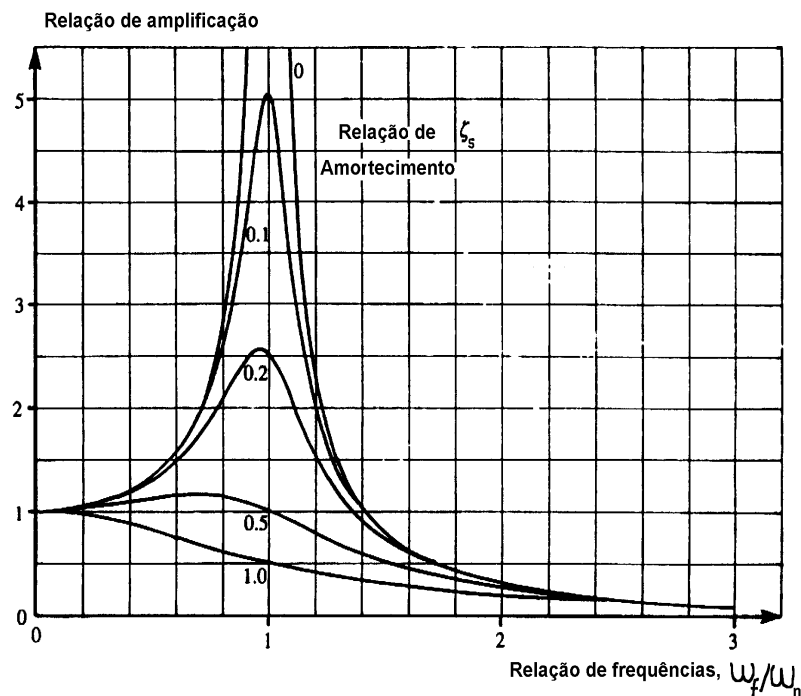


Figura 2.47 - Relação de amplificação em função da relação de frequências.

A resposta a uma variação do ângulo de direção é provavelmente a manobra mais representativa do comportamento transitório. Após este comando uma nova condição de equilíbrio deve ser alcançada, sendo uma função da frequência natural da suspensão e o seu amortecimento. Nos gráficos da Fig. 2.48 são mostrados genericamente o comportamento de resposta da velocidade angular de rotação r em torno do eixo vertical z de veículos com características diferentes, durante manobras abaixo da velocidade crítica. Na Figura 2.48(a) a situação de veículo neutro se mostra como a melhor resposta. Para o sub-esterço tem-se um pico de resposta devido ao baixo amortecimento, ficando pior com o aumento da

velocidade. Para o sobre-esterço o amortecimento é bom, mas o tempo para alcançar o equilíbrio é longo. Este tempo maior provoca dificuldade para a maiorias dos motoristas. Na Figura 2.48(b) são vistas as diferentes respostas para comandos iguais de esterçamento.

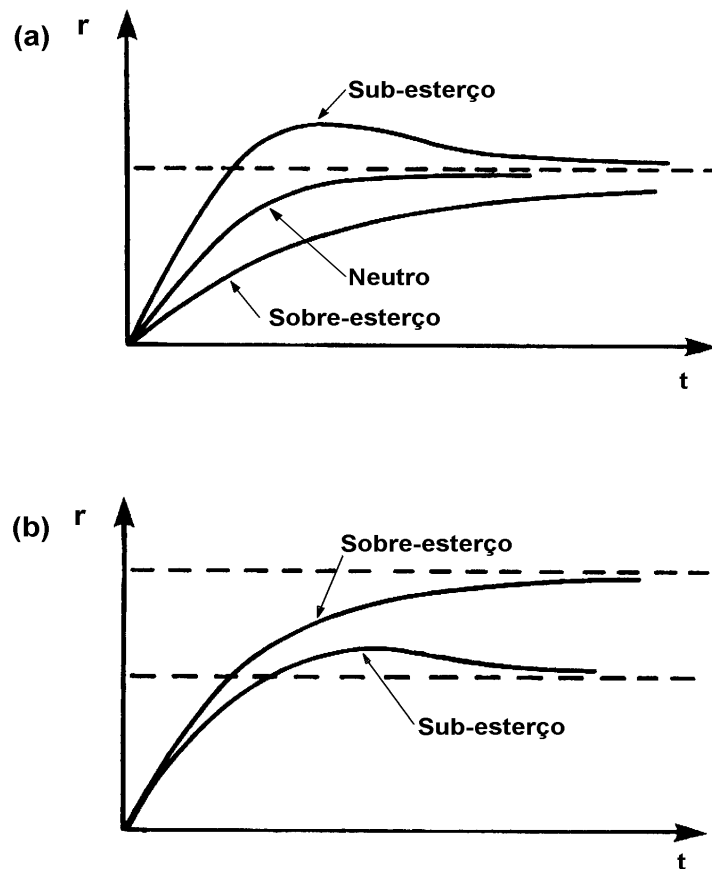


Figura 2.48 - Velocidade de rotação r em função do tempo para comandos do volante .

Assim como para as repostas a perturbações constantes, também para as transitórias o gradiente de sub-esterço deve estar entre 2 a 5 graus/g, e preferencialmente em torno de 3 a 4 graus/g. Normalmente o veículo neutro é mais apreciado e recomenda-se para o retardo de tempo entre o comando de giro do volante e o início de resposta tempos inferiores a 0,5 segundo, sendo que os tempos menores a 0,3 segundo são bastante apreciados (Dixon,1996).