

Capítulo 6

Propostas de trabalhos futuros

Os modelos de 2 e 4 GL apresentados no capítulo 3 facilitam o entendimento da influência dos elementos da suspensão na resposta das massas suspensa e não suspensa, no conforto e na condição de contato entre pneu e pavimento. Esses modelos, em conjunto com resultados experimentais e avaliações subjetivas (capítulo 4) e com o conteúdo de literatura (capítulo 2), possibilitaram também o desenvolvimento de novas métricas para utilização nas avaliações de *ride* de veículos.

No entanto, pode-se ainda utilizar modelos de 3 ou 4 GL para avaliar a influência de outros elementos e subsistemas do veículo no *ride*, conforme descrito abaixo:

6.1 Influência do conjunto motor câmbio sobre seus coxins

Os 6 modos de vibrar de corpo rígido do conjunto motor câmbio sobre seus coxins, considerando os coxins fixados a uma base rígida, geralmente apresentam frequências entre 5 e 20 Hz, ou seja, na faixa de frequências relativa ao *ride* de veículos.

Ao conectar os coxins à estrutura do veículo ocorre ligeira alteração nos valores de frequências dos modos de vibrar que apresentam movimento predominante do conjunto motor câmbio. No entanto, é comum que tais modos de vibrar apresentem componentes significativas de movimento de outros subsistemas do veículo, tais como, movimento vertical ou roll dos eixos e flexão vertical ou torção do chassi.

A avaliação da influência dos modos de vibrar que apresentam flexão do chassi em conjunto com movimento significativo do motor requer modelos computacionais mais elaborados, conforme apresentado no item 4.16 do capítulo 4. No entanto, uma avaliação básica qualitativa da influência do motor na resposta vertical da massa suspensa pode ser feita através do modelo de 3 GL da Figura 6.1.

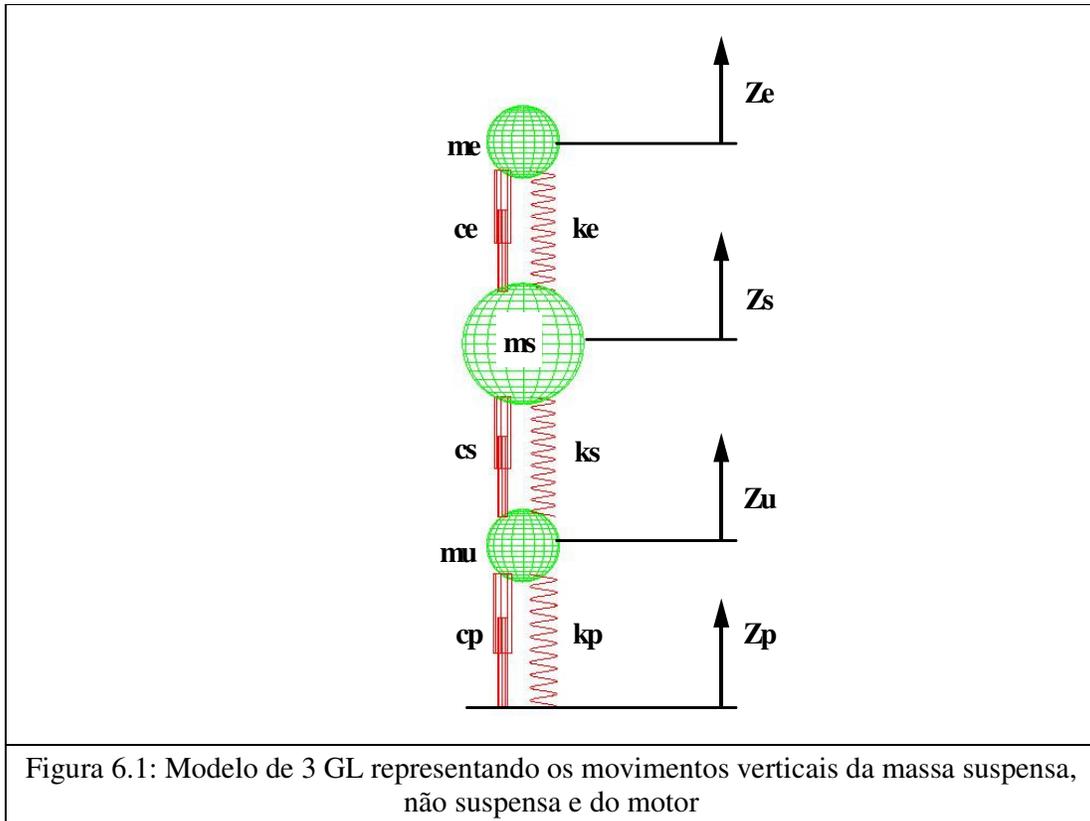
Esse modelo contempla os movimentos verticais da massa suspensa (Z_s), massa não suspensa (Z_u) e conjunto motor câmbio (Z_e). As características de rigidez (k_e) e amortecimento (c_e) referem-se aos coxins do motor na direção vertical.

As equações de movimento desse sistema estão apresentadas abaixo:

$$k_e \cdot (Z_s - Z_e) + c_e \cdot (\dot{Z}_s - \dot{Z}_e) = m_e \cdot \ddot{Z}_e \quad (6.1)$$

$$k_s \cdot (Z_u - Z_s) + k_e \cdot (Z_e - Z_s) + c_s \cdot (\dot{Z}_u - \dot{Z}_s) + c_e \cdot (\dot{Z}_e - \dot{Z}_s) = m_s \cdot \ddot{Z}_s \quad (6.2)$$

$$k_p \cdot (Z_p - Z_u) + k_s \cdot (Z_s - Z_u) + c_p \cdot (\dot{Z}_p - \dot{Z}_u) + c_s \cdot (\dot{Z}_s - \dot{Z}_u) = m_u \cdot \ddot{Z}_u \quad (6.3)$$



Para esse sistema, pode-se utilizar a função de transferência AZ_s/VZ_p para avaliar a influência do GL adicional do conjunto motor câmbio sobre seus coxins na resposta de aceleração vertical da massa suspensa, em função da frequência básica do motor na vertical (frequência calculada para o modelo de 1 GL a partir dos valores de massa (m_e) e rigidez dos coxins (k_e) do motor).

Somente como exemplo, a Figura 6.2 apresenta as amplitudes ao quadrado da função de transferência AZ_s/VZ_p , utilizando-se os modelos de 2 GL (capítulo 3) e de 3 GL (incluindo o motor sobre seus coxins), respectivamente em verde e azul.

Observa-se que ao se considerar o sistema motor sobre seus coxins não ocorrem alterações na faixa de frequências de massa suspensa (entre 1 e 2 Hz), no entanto, ocorre

aumento das amplitudes de resposta entre 6 e 15 Hz. Nesta última faixa de frequências estão presentes os 2 modos de vibrar com movimento predominante de eixo e de motor na vertical, respectivamente nas frequências de 11.3 e 6.8 Hz. Observa-se o surgimento de um novo pico na resposta de aceleração do chassi na frequência do modo de vibrar com movimento predominante de motor (6.8 Hz).

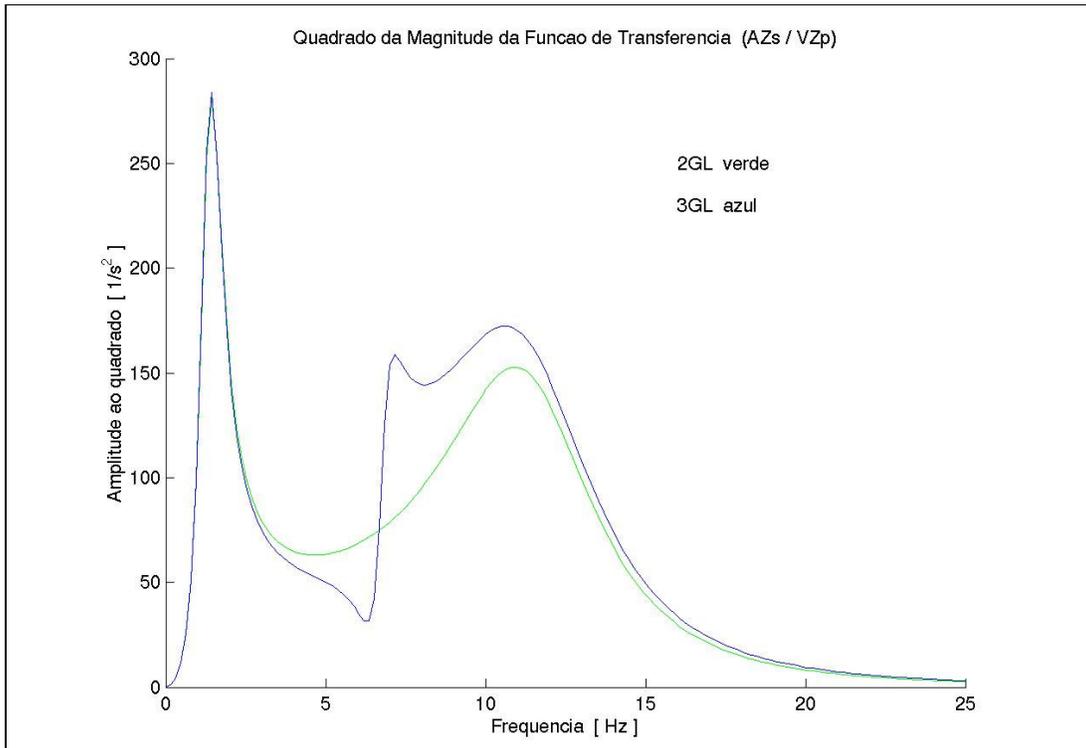


Figura 6.2: Amplitude ao quadrado de AZ_s / VZ_p para os modelos de 2 e de 3 GL

O valor de frequência básica do conjunto motor câmbio influencia significativamente na amplitude de resposta do chassi. Quanto mais próxima essa frequência estiver da frequência do modo de vibrar de eixo, maiores serão as amplitudes de resposta no chassi, conforme apresentado na Figura 6.3, para frequências básicas do motor de 6.5, 7.5, 8.5 9.5 e 10.5 Hz.

O modelo de 3 GL da Figura 6.1 também pode ser utilizado para a avaliação da resposta de aceleração vertical do motor. A Figura 6.4 contém os valores quadráticos das amplitudes da função de transferência AZ_e / VZ_p . Esses valores de amplitude são afetados significativamente pelo coeficiente de amortecimento dos coxins na vertical, **ce**.

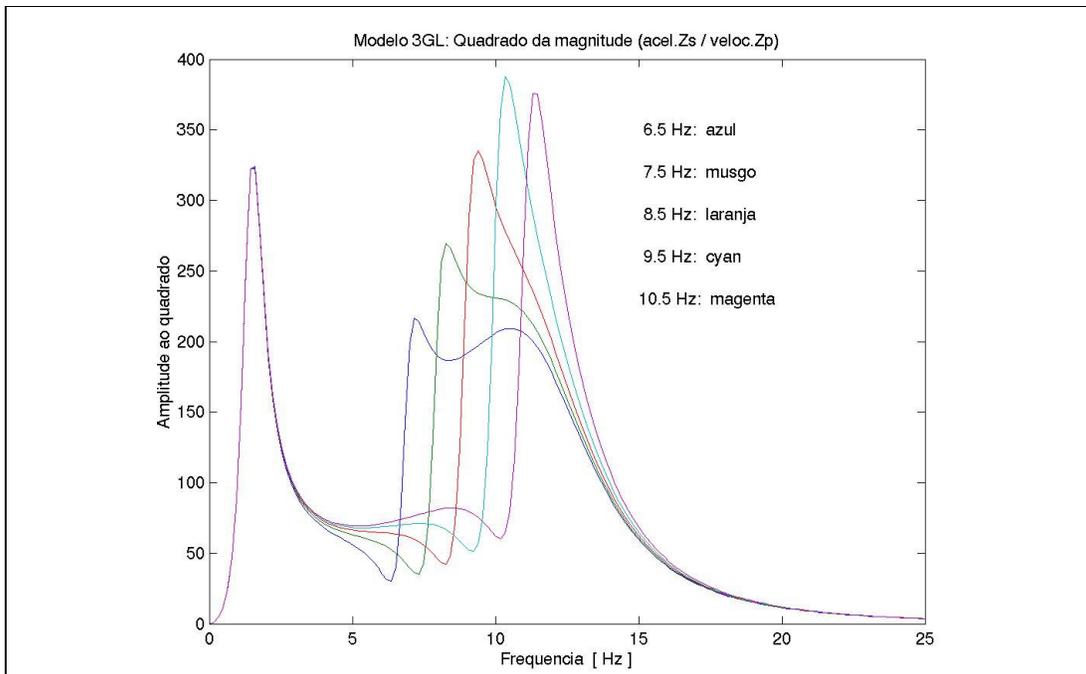


Figura 6.3: Amplitude ao quadrado de AZ_s / VZ_p para vários valores de frequência básica do conjunto motor câmbio sobre seus coxins

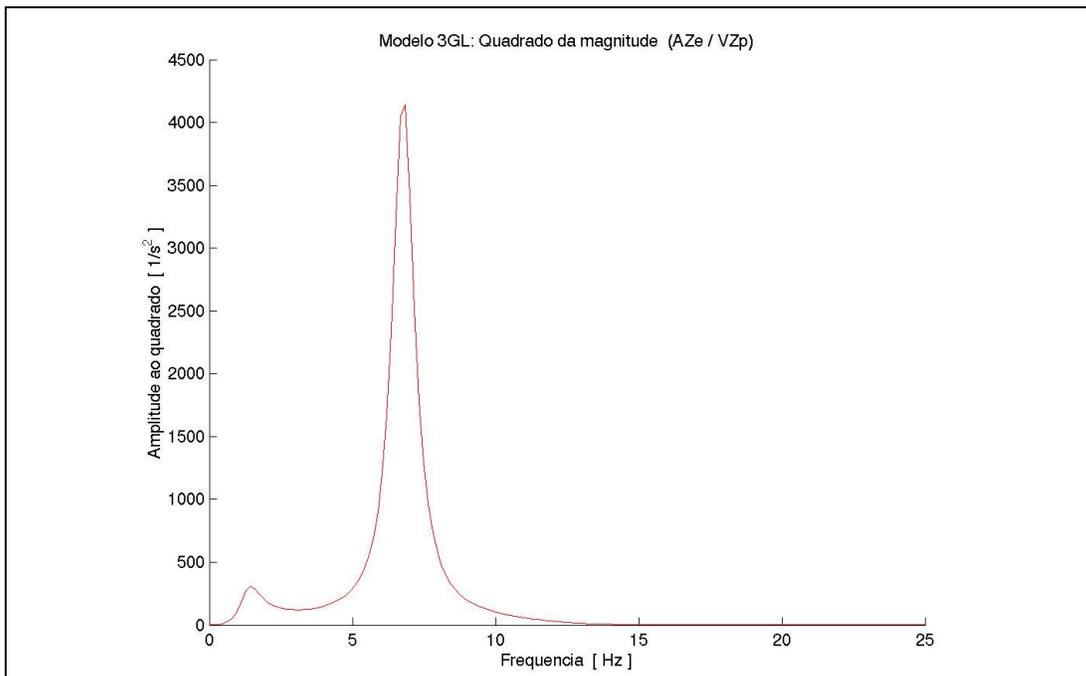


Figura 6.4: Amplitude ao quadrado de AZ_e / VZ_p

As amplitudes de resposta de aceleração do motor também são influenciadas significativamente pela proximidade entre as frequências dos modos de vibrar de vertical de eixo e de vertical do motor, conforme apresentado na Figura 6.5.

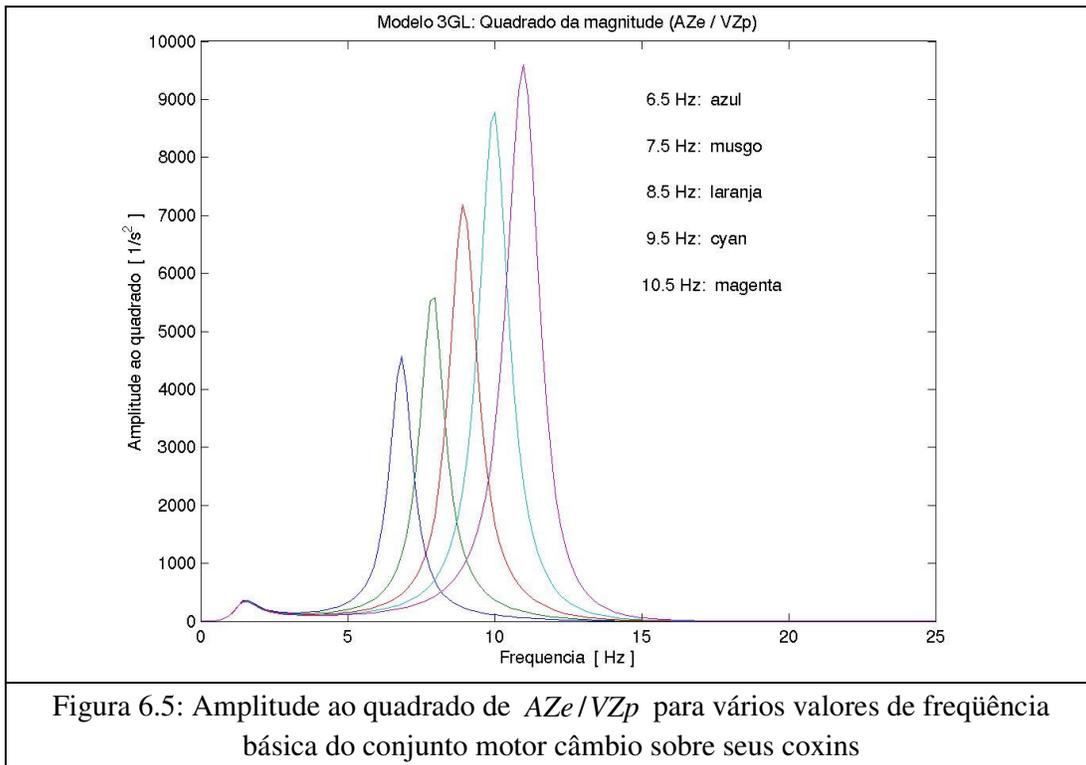


Figura 6.5: Amplitude ao quadrado de A_{Ze} / V_{Zp} para vários valores de frequência básica do conjunto motor câmbio sobre seus coxins

Os resultados apresentados nas Figuras 6.3 e 6.5 auxiliam no entendimento do motivo para a existência de critérios na indústria automobilística para evitar proximidade entre as frequências dos modos de vibrar com movimento predominante de eixo e de motor na vertical.

No entanto, o conteúdo apresentado nesse item requer estudos mais aprofundados e validações experimentais e, portanto, é um assunto sugerido para trabalhos futuros.

6.2 Outras avaliações

Esse item contém a descrição de outras avaliações sobre *ride* de veículos que podem ser feitas através de modelos simples para fornecer as primeiras noções qualitativas.

Como exemplo, pode-se também utilizar a coordenada Z_e do modelo de 3 GL da Figura 6.1 para avaliar o efeito básico de uma suspensão de cabina no conforto, através da função de transferência A_{Ze} / V_{Zp} . Nesse caso, podem ser feitas avaliações distintas em função do conceito de suspensão de cabina a ser utilizado:

- **Conceito A** (cabina com frequência básica vertical acima de 12 Hz): visa filtrar vibrações de alta frequência do chassi e do motor (harshness) e também propicia redução dos esforços impostos à cabina quando comparada com uma fixação direta ao chassi. Nesse conceito, o movimento da cabina acompanha o do chassi nos primeiros modos de vibrar com presença de flexibilidade desse último e, além disso, não ocorre isolamento na faixa de frequências do modo de vibrar de massa não suspensa. O modelo de 3 GL pode ser utilizado para avaliar a influência da proximidade entre a frequência do modo de vibrar com movimento de massa não suspensa e a frequência básica da cabina na vertical na resposta de *AZe*.

Frequência básica de cabina na faixa de frequência do modo de vibrar com movimento predominante de eixo deve ser evitada para não comprometer o conforto dos ocupantes.

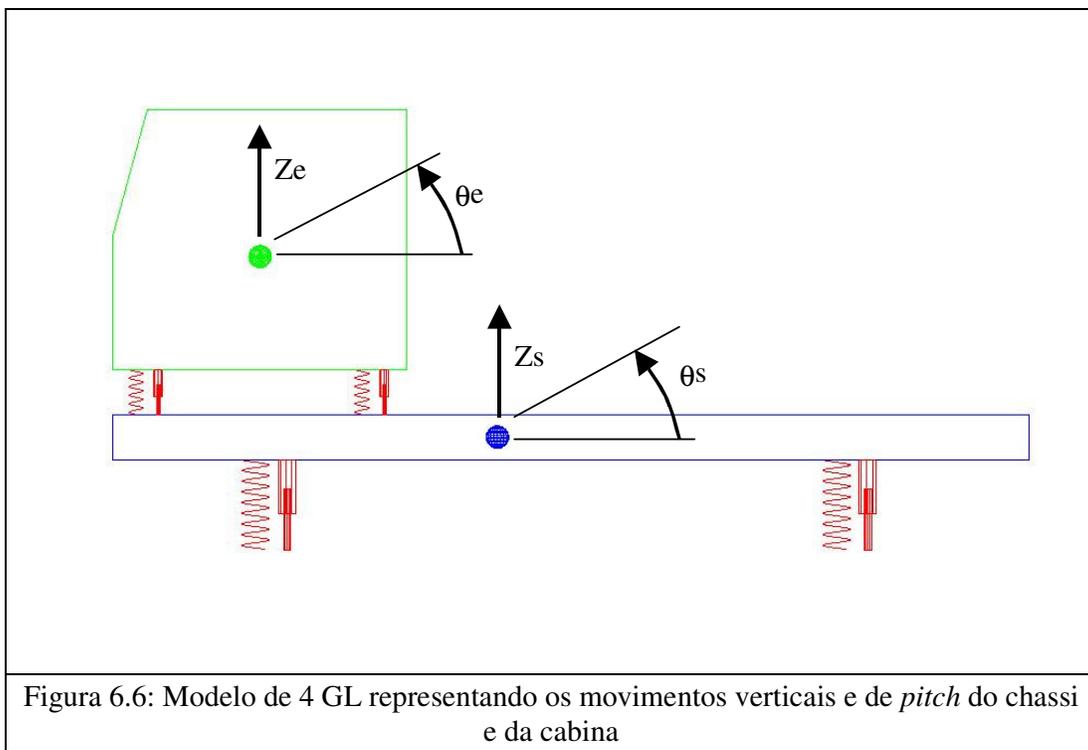
- **Conceito B** (cabina com frequência básica vertical entre 5 e 8 Hz): propicia melhor isolamento das vibrações provenientes de motor quando comparada com o conceito A e, além disso, propicia isolamento das vibrações oriundas da resposta do modo de vibrar de eixo e de alguns modos de vibrar com flexibilidade do chassi. O modelo de 3 GL pode ser utilizado para avaliar os benefícios de se ter o modo de vibrar com movimento predominante de cabina com frequência abaixo do modo de vibrar de eixo. Esse modelo também pode ser utilizado para avaliar o fator de amortecimento necessário para evitar amplitudes excessivas de vibração na frequência do modo de vibrar de cabina, visto que nessa faixa de frequência o ser humano apresenta baixa tolerância na direção vertical.

Frequência básica de cabina na faixa entre 3 e 4 Hz são geralmente evitadas por coincidirem com a frequência do sistema motorista sobre a suspensão do banco na vertical.

- **Conceito C** (cabina com frequência básica vertical entre 1 e 2 Hz): propicia ótimo isolamento das vibrações de motor, eixo e chassi na direção vertical. No entanto requer grande espaço de trabalho e projeto de sistemas de rigidez progressiva com elementos limitadores de curso. Faz-se necessário valores elevados de coeficientes de amortecimento visto que o fator de amortecimento

do modo de vibrar com movimento predominante da cabina será menor do que o fator de amortecimento do modelo de 1 GL da cabina sobre sua suspensão. O modelo de 3 GL pode ser utilizado para avaliação do amortecimento necessário e da influência do acoplamento dos movimentos de cabina (Z_e) e chassi (Z_s) nos dois primeiros modos de vibrar.

Visto que em veículos comerciais o motorista encontra-se em uma posição elevada, o estudo da influência da suspensão de cabina em conjunto com o movimento de *pitch* do chassi também é importante. Para essa avaliação, pode-se utilizar o modelo de 4 GL apresentado na Figura 6.6.



Essas avaliações referentes à influência da suspensão de cabina também são propostas para trabalhos futuros.

Os modelos simples apresentados nesse trabalho podem ser aprimorados, com complexidade crescente, de forma a avaliar isoladamente e em conjunto os efeitos de vários subsistemas do veículo nas avaliações de *ride*. Desta forma pode-se estender esse trabalho para modelos que incluam:

- chassi flexível sobre suspensão primária;
- massa não suspensa;

- motor e câmbio sobre seus coxins;
- cabina sobre sua suspensão.

O modelo computacional da *pickup* apresentado no item 4.16 do capítulo 4 representa todos esses efeitos. No entanto, um estudo detalhado através de modelos mais simples é de fundamental importância para o real entendimento da contribuição de cada subsistema, e de sua interação com os demais, na resposta final de aceleração imposta ao motorista.