

8 Conclusões e Sugestões

O objetivo deste trabalho, descrito em 1.1, é obter modelos matemáticos de subsistemas via fluxo de potência que permitam implementá-los como módulos independentes em um diagrama de blocos, acoplando-os diretamente, na forma computacional. Dos resultados expostos no Capítulo 7, vê-se que a abordagem adotada é válida. O procedimento adotado conduziu a um diagrama de blocos onde os módulos são independentes e ainda *intercambiáveis*. Nos exemplos representados, duas suspensões diferentes compartilharam, à sua vez, os mesmos pneus e o mesmo chassi, e o acoplamento computacional produziu os mesmos resultados obtidos em um programa comercial.

Este trabalho também está inserido entre os *modelos fechados*, assim concebidos desde o início de sua análise, e os *modelos fechados obtidos a partir de módulos*, onde o acoplamento analítico dos subsistemas é feito após cada um ser equacionado individualmente. Conclui-se que os objetivos foram cumpridos.

As principais vantagens são a intercambialidade dos módulos que compõem o sistema, a forma aberta e analítica das equações que os descrevem, a facilidade em visualizar as influências de um parâmetro ou de um esforço sobre um componente ou sobre um outro subsistema, promovida de forma clara pela estrutura de junção, e a forma final em diagrama de blocos. A familiarização com a Técnica dos Grafos de Ligação, em uso há pelo menos 30 anos, também é um ponto positivo, já que permite a fácil visualização do fluxo de potência.

O módulo independente pode ser testado individualmente, e é possível ainda separar cinemática e dinâmica, sendo que se a primeira produz os resultados esperados, a segunda funcionará automaticamente. Com isso a cinemática pode ser um indicador na tarefa de encontrar possíveis erros de equacionamento e de implementação, sem a necessidade de avaliar também a dinâmica, o que pode mascarar a origem de um erro.

A principal desvantagem está na extensão de algumas expressões de elementos da Matriz de Vínculos Cinemáticos, fato que ocorreu durante a

formulação da cinemática da suspensão de braços sobrepostos. Isto pode retardar a construção do modelo, pois neste procedimento é preciso ter em mãos as expressões analíticas.

Cabe ressaltar que o método empregado para abrir os laços algébricos próprios dos mecanismos em cadeia fechada elimina as equações algébricas que caracterizam o laço. O sistema de equações é então obtido com o número mínimo de coordenadas, diferente do que é apresentado nas referências [46] e [91], onde o equacionamento conduz a sistemas EDA, e também diferente do que é apresentado nas referências [16] a [25], em que a metodologia empregada também conduz a um equacionamento usando o número mínimo de coordenadas, porém com um grau menor de modularidade. A solução para o laço algébrico aqui apresentada reduz a complexidade do equacionamento da geometria e ainda evita operações de inversão de matrizes a cada passo.

Um outro aspecto importante é o mencionado grau de modularidade. Na abordagem pelo número máximo de coordenadas (referências [46] e [91]), onde o equacionamento caracteriza pares de corpos unidos por juntas, a substituição de um componente do sistema por outro faz com que todo o modelo precise ser equacionado novamente desde o início. Embora já existam programas comerciais que resolvam sistemas mecânicos (referências [98] e [100], por exemplo), a forma de modelagem matemática final praticamente não permite ao usuário reconhecer a influência de parâmetros nas variáveis de seu interesse. Na abordagem pelo número mínimo de coordenadas apresentada nas referências [16] a [25], as equações dos subsistemas são destacadas a princípio, onde consegue-se distinguir as relações cinemáticas entre os corpos de um mecanismo que são apresentadas na forma matricial, porém a forma se perde à medida que o equacionamento é construído. Caso se deseje substituir componentes, deve-se voltar novamente a um ponto no início do equacionamento e promover a alteração de algumas equações para obter o modelo modificado. Também neste caso há programas comerciais que seguem a metodologia, como apresentado na referência [99]. Aqui consegue-se uma modularidade maior do que no caso anterior, ou seja, um maior grau de modularidade.

No presente trabalho, a Matriz de Vínculos Cinemáticos permite ao usuário conhecer a influência de um parâmetro nas variáveis de saída que desejar, assim como a estrutura de junção local possibilita observar diretamente como a

cinemática e a dinâmica de um subsistema estão relacionadas. E uma vez criado o módulo, nenhuma adaptação precisará ser feita na estrutura global do sistema. A substituição é imediata, desde que respeite os critérios de causalidade necessários. Isso permitiu, nos casos apresentados, a substituição de uma suspensão por outra sem alterar o sistema. Aliado ao diagrama de blocos, essa nova visão é útil para construir modelos abertos, de fácil visualização, e de simples operação, onde o usuário pode criar uma biblioteca de modelos que melhor lhe sirva. A modularidade aqui é maior do que as dos dois casos anteriores, e o grau de modularidade mostra até que ponto um sistema mecânico pode ser modelado matematicamente de forma a constituir um módulo fechado independente. Pode-se testar a suspensão sem acoplá-la ao chassi e vice-versa.

Sintetizando o procedimento, pode-se dizer que consiste basicamente em desenvolver modelos matemáticos de sistemas mecânicos por módulos independentes, testá-los individualmente, acoplá-los segundo a física do problema, verificar se há ou não independência entre os módulos originais e chegar ao modelo final a partir de uma abordagem que inicia com módulos independentes. Não necessariamente o modelo precisa ser equacionado por meio da Técnica dos Grafos de Ligação, permitindo-se assim o uso do procedimento ao qual o usuário estiver mais familiarizado. Entretanto, as variáveis de entrada e de saída têm que obrigatoriamente ser variáveis de potência.

Como sugestões estão a ampliação da biblioteca de modelos de subsistemas próprios de veículos, como outras configurações de suspensões; união computacional de modelos de corpos rígidos com modelos de corpos flexíveis, usando diagramas de blocos; a partir do modelo fechado obtido a partir do modelo aberto, analisar o comportamento dinâmico de sistemas no domínio da frequência.

Na área de dinâmica de veículos, usar o acoplamento computacional para gerar também sistemas, como, por exemplo, caminhão “cavalo mecânico” e reboque, criando um veículo articulado, ou um sistema motocicleta-motociclista-*side car*.

Conjugando este trabalho com a área de controle de sistemas mecânicos, em um modelo de veículo articulado para a análise da dinâmica de frenagem, implementar controladores que, por exemplo, distribuam a frenagem do sistema caminhão-carreta para que não ocorra o chamado “L”, situação na qual a carreta,

em uma frenagem ou condição de perda de aderência, tende a ultrapassar o caminhão, entre outros.