



## APLICAÇÃO DE TÉCNICAS DE SIMULAÇÃO E OTIMIZAÇÃO A SISTEMAS MULTICORPOS REPRESENTANDO O COMPORTAMENTO DINÂMICO DE VEÍCULOS COM ESTUDO DE CASO

### Fernando César Gama de Oliveira

Faculdade de Engenharia Mecânica – Universidade Federal de Uberlândia - Av. João Naves de Ávila, 2160 – Campus Santa Mônica – Bloco 1M – Uberlândia/MG CEP: 38400-902  
fcoliveira@mecanica.ufu.br

### Prof. Dr. José Antônio Ferreira Borges

Faculdade de Engenharia Mecânica – Universidade Federal de Uberlândia - Av. João Naves de Ávila, 2160 – Campus Santa Mônica – Bloco 1M – Uberlândia/MG CEP: 38400-902  
zeborges@mecanica.ufu.br

**Resumo:** O objetivo principal deste trabalho é aplicar as técnicas de simulação de sistemas multicorpos e otimização à dinâmica de veículos realizando um estudo de caso. Os conceitos de cinemática e dinâmica de corpos rígidos são importantes ferramentas da engenharia moderna, pois permitem analisar o deslocamento, velocidade, aceleração, forças e momentos atuantes nos componentes do sistema mecânico durante sua operação. Em sistemas complicados e de natureza tridimensional o uso da álgebra vetorial é essencial para a formulação das equações do movimento. Neste trabalho será usado o software comercial MSC/ADAMS, que permite efetuar a modelagem, simulação e otimização de sistemas multicorpos, aliando metodologias analíticas e computacionais. Os métodos analíticos constituem um processo estrutural aliados aos métodos preditivos conhecidos como processo 'V': aspiração, definição, análise, decomposição, síntese, composição, simulação, confirmação e revisão. Este trabalho encontra-se em fase inicial de execução, mas algumas análises e o emprego de técnicas de otimização estão sendo aplicados a mecanismos mais simples para fins de exploração. Atualmente estão sendo analisadas três possibilidades para o estudo de caso pretendido: 1) Simulação e otimização de protótipo de veículo do tipo off-road baseado na análise de seu desempenho experimental 2) Projeto e desenvolvimento de um protótipo virtual de veículo radio controlado para manipulação de artefatos 3) Desenvolvimento de protótipo virtual de veículo esportivo de alto desempenho com carroceria conversível e motor V8.

**Palavras-chave:** simulação, otimização, multicorpos, dinâmica de veículos.

### 1. INTRODUÇÃO

O propósito do trabalho é desenvolver um estudo na área de dinâmica veicular, com base em metodologias que abrangem soluções analíticas, computacionais e experimentais. A aplicação dos conceitos de cinemática e dinâmica de corpos rígidos implementados nos modernos programas computacionais de simulação permitem a análise de velocidades, acelerações, forças e momentos, bem como a formulação de equações do movimento de acordo com o número de graus de liberdade do sistema em estudo. Para fazer isto é necessário utilizar álgebra vetorial para solucionar os problemas quase sempre de natureza tridimensional. Com base nessas abordagens e aliado à utilização de softwares que incorporam ferramentas de modelagem, simulação e otimização, podem ser obtidos modelos refinados que representam fielmente a realidade.

Softwares comerciais tais como o MSC/ADAMS/VIEW e MSC/ADAMS/CAR permitem utilizar a técnica dos multicorpos na modelagem e análise de problemas relacionados à dinâmica veicular. A integração destes softwares com outras ferramentas computacionais de CAD/CAE garante condições favoráveis à preparação do conjunto dos dados que irão definir o modelo, bem como permite a representação de situações reais complexas. Outros softwares, como o Matlab também serão utilizados como ferramentas computacionais acessórias na manipulação de resultados.

Este trabalho, ainda em fase inicial de definição, pretende aplicar as técnicas acima citadas em um estudo de caso que será escolhido entre as três opções apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1: Estudos de caso propostos.

| Nº. | Descrição                                                                                                                                             |
|-----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| A   | Simulação e otimização de protótipo de veículo do tipo off-road (Mini Baja) baseado na análise de seu desempenho experimental.                        |
| B   | Projeto e desenvolvimento de um protótipo virtual de veículo radio controlado para manipulação de artefatos (Projeto em parceria com o GATE da PMMG). |
| C   | Desenvolvimento de protótipo virtual de veículo esportivo de alto desempenho com carroceria conversível e motor V8.                                   |

O critério de escolha do estudo de caso levará em conta a possibilidade de sua realização em etapas, ajustadas à disponibilidade dos recursos necessários ao desenvolvimento de cada uma das alternativas propostas.

## 2. METODOLOGIA

### 2.1. Métodos Analíticos

Uma das dificuldades a serem vencidas durante o trabalho é a aquisição da grande quantidade de dados necessários à definição dos modelos (Gillespie, 1994). O modelo ideal é aquele que com um mínimo de complexidade é capaz de solucionar os problemas a que diz respeito com um risco de erro considerado aceitável na solução (Sharp, 1991). Assim, os métodos analíticos aliados aos métodos preditivos fazem parte de um processo estrutural similar ao da Figura 1:

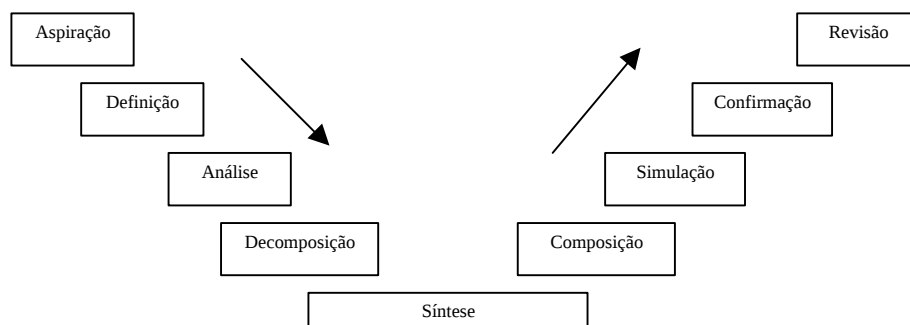


Figura 1: Processo 'V'.

Aspiração: O método propriamente dito inicia-se com o reconhecimento das metas a serem alcançadas;

Definição: Enumeração das tarefas a serem executadas. Um estudo de padrões de referência 'benchmarking' será feito nesse estágio e, após a definição, uma clara descrição de sucesso e falha deverá existir;

Análise: A partir dos critérios de sucesso e falha definidos no item anterior ao sistema como um todo, os subsistemas individuais serão considerados. Durante esse estágio algumas decisões serão tomadas e já é possível fazer um mapeamento do espaço de projeto

Decomposição: Execução das decisões de projeto definidas no item anterior;

Síntese: Ferramentas analíticas serão utilizadas para dar suporte a atividades individuais, além de fazer uma verificação da conformidade do projeto com as metas impostas;

Composição: Os subsistemas considerados separados do sistema como um todo nos itens anteriores serão novamente reagrupados com um alto grau de confiança que se espera como resultado para as metas impostas;

Simulação: Nessa fase, a prototipagem virtual com utilização dos modelos que foram preparados será utilizada para avaliar de forma preditiva e com alguns detalhes o comportamento do sistema como um todo;

Confirmação: Alguns testes serão realizados nesse estágio;

Revisão: Revisão do projeto com vistas a possíveis mudanças.

## 2.2. Métodos Computacionais

O MSC/ADAMS é um software numérico típico de uma faixa de programas de análise de sistemas multicorpos. Na utilização desse software o usuário está interessado em fazer a montagem do problema descrito fisicamente ao invés de escrever equações de movimento. Blundell (2004) descreve como o MSC/ADAMS é utilizado para o estudo do comportamento de sistemas de corpos rígidos ou flexíveis conectados por juntas, submetidos a movimentos com grandes deslocamentos e mostra uma aplicação particular do software na dinâmica veicular. Assim, o MSC/ADAMS é um excelente software para modelagem e simulação de qualquer sistema mecânico que possua partes que se movem. A aplicação de restrições ao movimento entre as partes de um sistema é permitida pelo uso dos diferentes tipos de juntas disponíveis.

O MSC/ADAMS compreende um conjunto de etapas lógicas a serem executadas desde a construção da geometria do modelo até a otimização do mesmo, além de permitir sua integração com programas CAD/CAE. Essas etapas são descritas a seguir:

1. Construção de modelos de sistemas mecânicos que incluem partes móveis, juntas, conexões flexíveis e aplicação de forças;
2. Teste do modelo através da simulação dos movimentos;
3. Validação do projeto através da comparação dos dados de testes físicos com os resultados da simulação virtual;
4. Refinamento do modelo de forma que os dados de testes físicos correspondam aos dados virtuais;
5. Iteração do projeto para avaliar a sensibilidade do seu desempenho a eventuais mudanças de seus parâmetros;
6. Otimização do projeto;
7. Automatização das etapas do processo.

## 3. APLICAÇÕES/RESULTADOS

Serão apresentados alguns exemplos de aplicações, bem como seus resultados. No primeiro exemplo, a entrada dos dados na fase de pré-processamento do MSC/ADAMS é feita via menus de comando. A figura 2 ilustra as partes constituintes de uma suspensão tipo SLA, constituída por buchas, juntas e braços de articulação. A declaração de uma junta no plano será feita via linha de comando (MSC.ADAMS, 2003).

O comando de entrada para a criação da junta no plano especificada pela figura 3 é descrito como: JPRIM/10,I=0410,J=0610,INPLANE

Sendo: JPRIM: comando para criação da junta;

10: numeração da junta

I = 0410: especificação do marker I, que é utilizado para definir a posição de um ponto geométrico em um componente;

J = 0610: especificação do marker J, que é utilizado para definir a posição de um ponto geométrico em outro componente;

INPLANE: nome da junta no plano, que restringe o movimento de um ponto a apenas um plano e que será colocada entre os markers I e J.

Assim, o marker I pode transladar nas direções x e y do plano que contém o marker J, além de poder rotacionar sobre esses eixos.

Os resultados quanto ao número de graus de liberdade que tais juntas são capazes de restringir serão apresentados através da tabela 2.

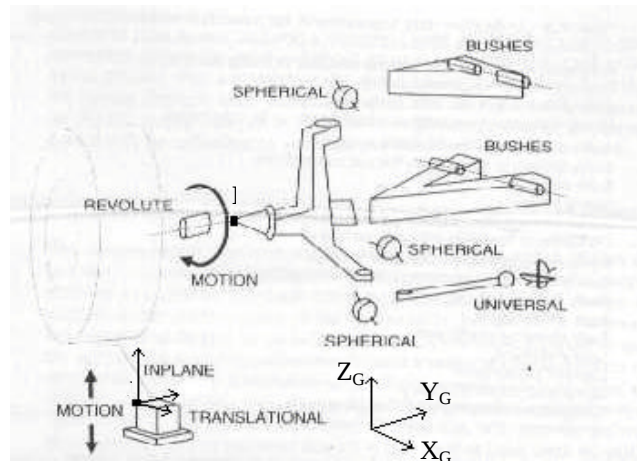


Figura 2: componentes de uma suspensão SLA.

Tabela 2: Cálculo dos graus de liberdade para a suspensão SLA com buchas.

| Componentes                              | Quantidade | Graus de liberdade | ? graus de liberdade |
|------------------------------------------|------------|--------------------|----------------------|
| Partes                                   | 6          | 6                  | 36                   |
| Juntas de translação                     | 1          | -5                 | -5                   |
| Juntas de revolução                      | 1          | -5                 | -5                   |
| Juntas universais                        | 1          | -4                 | -4                   |
| Juntas esféricas                         | 3          | -3                 | -9                   |
| Juntas no plano                          | 1          | -1                 | -1                   |
| Movimentos                               | 2          | -1                 | -2                   |
| <b>? graus de liberdade da suspensão</b> |            |                    | <b>10</b>            |

No próximo exemplo, ilustrado na Figura 3, foi feita a modelagem, simulação e otimização de um mecanismo tipo alavanca. As variáveis de projeto e as partes constituintes do mecanismo são descritas a seguir:

Braço de alavanca (A): Parte onde é aplicada uma força de 80 N (Newtons) constante, especificamente no ponto 4 no sentido de aplicação da seta amarela;

Braço de ligação (B): Liga o braço de alavanca (A) ao engate (C);

Engate (C): Parte que desliza sobre a superfície do bloco (D);

Bloco (D): Representa a superfície por onde o engate (C) desliza;

Mola (E): Localizada entre o engate (C) e o bloco (D), é responsável pela força de aperto quando o engate (D) é travado no bloco (D). Sua rigidez é de 800 N/cm (Newtons/centímetro) e possui um coeficiente de amortecimento de 0.5 N.s/cm (Newtons x segundos/centímetro);

Pivô (F): Representa a parte pivotada do mecanismo. São aplicadas juntas de revolução nos pontos 1, 2, 3, 8 e 9. Essas juntas restringem os movimentos de revolução das partes envolvidas apenas ao plano xy. Uma junta no plano é aplicada entre o bloco (D) e o engate (C), essa junta representa uma ação de aperto e restringe um ponto do engate (C) a deslizar ao longo da superfície do bloco (D). Assim, devido a essa junta, o movimento de translação se restringe apenas ao plano xz da Figura 4.

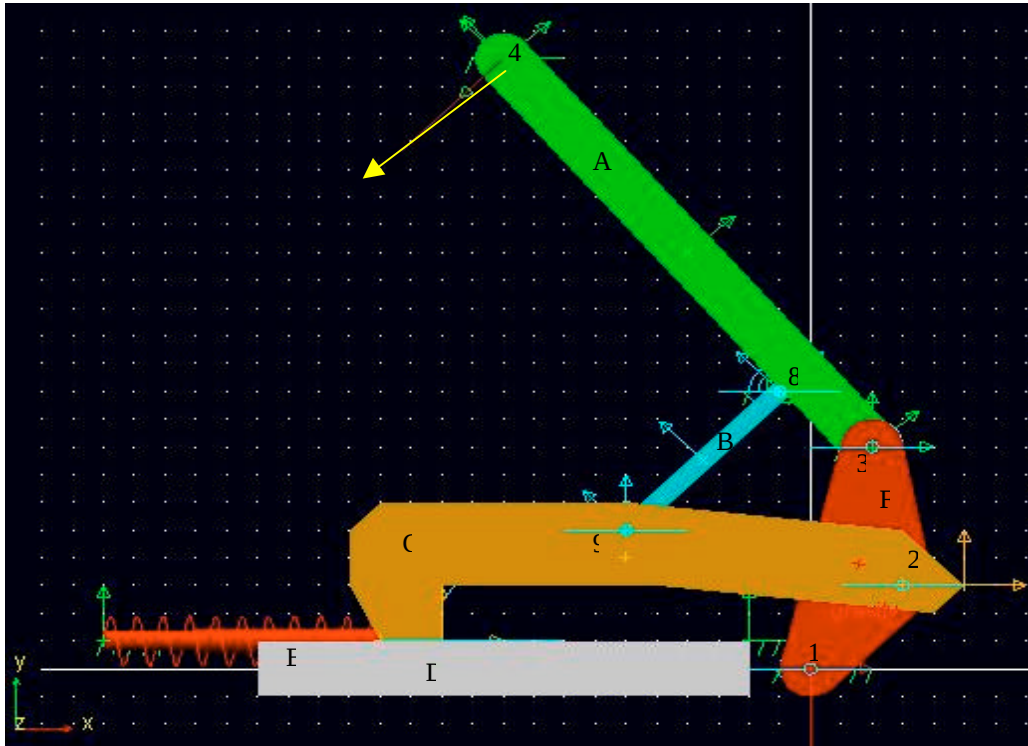


Figura 3: Mecanismo a ser simulado e otimizado pelo MSC/ADAMS.

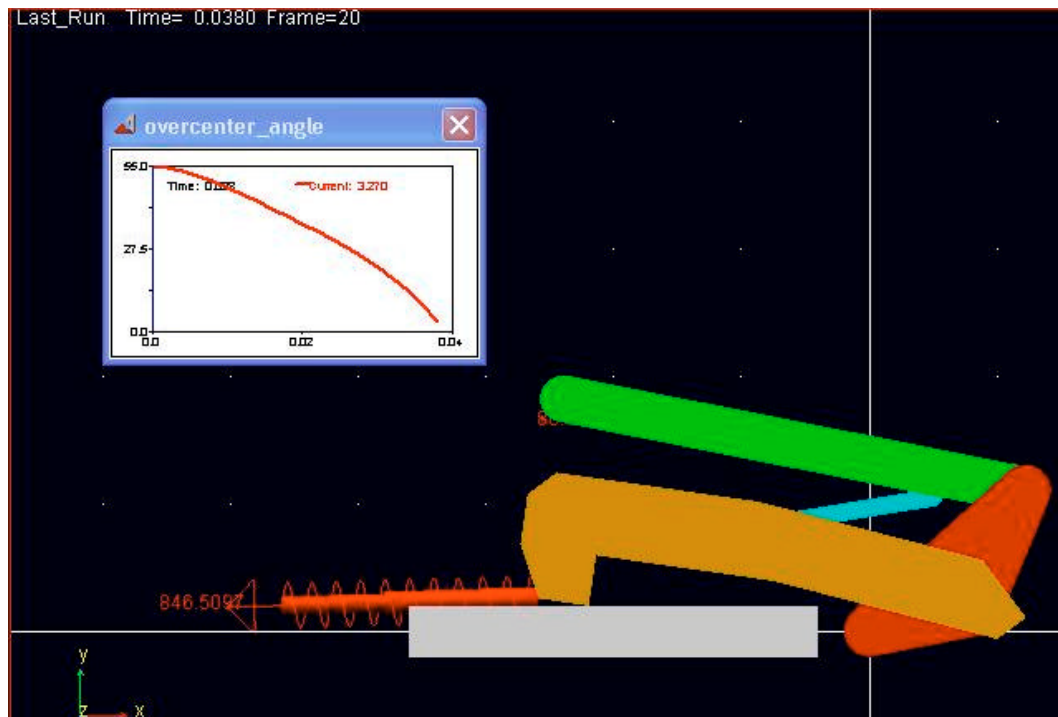


Figura 4: Configuração final do mecanismo após a aplicação da força.

O ângulo definido pelos pontos 8-3-9, conhecido como ‘overcenter angle’, é tomado como medida de referência para o acionamento de um sensor que quando aplicado via menu de comando, encerra a simulação a partir do momento em que esse ângulo fica menor ou igual a zero. Assim, após uma determinada simulação com tempo final de 0,2 s (segundos) e com 100 passos de integração foi feito um refinamento do modelo que representa o mecanismo. Esta análise foi feita via variáveis de projeto estipulando faixas de valores permitidos para cada uma delas. A partir daí, foi feita uma iteração no modelo de forma a fazer um estudo nas variáveis de projeto e como resultado obteve-se que variáveis referentes à coordenada y dos pontos 2, 8 e 9 (2\_y, 8\_y e 9\_y) foram aquelas que apresentaram maior sensibilidade.

O algoritmo de otimização utilizado foi o DOT3 (padrão do MSC/ADAMS) com um número máximo de iterações igual a 100. Assim, as variáveis de projeto DV\_4, referente ao ponto 2\_y, DV\_6, referente ao ponto 8\_y e DV\_8, referente ao ponto 9\_y, foram otimizadas de forma a obter a máxima força na mola. A configuração final do mecanismo após a simulação, bem como o gráfico que representa a mudança do ‘overcenter angle’ ao longo do tempo é ilustrado através da Figura 4. Um relatório dos resultados obtidos após a otimização é apresentado pela Figura 5.

|                                |         |        |        |        |
|--------------------------------|---------|--------|--------|--------|
| 01) Minimum of SPRING_1_MEA_1  |         |        |        |        |
| Units : NO UNITS               |         |        |        |        |
| Initial Value: -846.51         |         |        |        |        |
| Final Value : 0 (-100%)        |         |        |        |        |
| Design Variables               |         |        |        |        |
| V1) DV_4                       |         |        |        |        |
| Units : NO UNITS               |         |        |        |        |
| Initial Value: 3               |         |        |        |        |
| Final Value : 2.53338 (-15.6%) |         |        |        |        |
| V2) DV_6                       |         |        |        |        |
| Units : NO UNITS               |         |        |        |        |
| Initial Value: 10              |         |        |        |        |
| Final Value : 6.5 (-35%)       |         |        |        |        |
| V3) DV_8                       |         |        |        |        |
| Units : NO UNITS               |         |        |        |        |
| Initial Value: 5               |         |        |        |        |
| Final Value : 5.28942 (+5.79%) |         |        |        |        |
| Iter.                          | 01      | DV_4   | DV_6   | DV_8   |
| 0                              | -846.51 | 3.0000 | 10.000 | 5.0000 |
| 1                              | 0.00000 | 2.5334 | 6.5000 | 5.2894 |
| 2                              | 0.00000 | 2.5334 | 6.5000 | 5.2947 |
| 3                              | 0.00000 | 2.5334 | 6.5000 | 5.2894 |

Figura 5: Relatório de dados após a otimização.

Assim, para que a força da mola seja aumentada em 100%, as variáveis de projeto foram alteradas para os valores apresentados no relatório na figura 5. Observou-se que a variável DV\_6 apresentou uma considerável redução no seu valor (-35%). A convergência dos resultados foi atingida na 3ª iteração.

#### 4. CONCLUSÕES

Visto que o trabalho encontra-se em fase inicial de execução com o estudo de caso ainda a ser definido, algumas análises e emprego de técnicas de otimização estão sendo feitos em mecanismos mais simples. Um estudo dirigido está sendo feito para abordar os conceitos dos sistemas multicorpos aplicados à dinâmica veicular, bem como a construção de modelos com complexidade crescente que contribuem para a familiarização com o software MSC/ADAMS.

## 5. AGRADECIMENTOS

- À Comissão organizadora do 15° POSMEC;
- Ao Laboratório de Sistemas Mecânicos (LSM);
- Ao CNPq.

## 6. REFERÊNCIAS

- Blundell, M. and Harty, D., 2004, “Multibody Systems Approach to Vehicle Dynamics”, Society of Automotive Engineers, Inc., USA.
- Gillespie, T.D., 1994, “Fundamentals of Vehicle Dynamics”, Society of Automotive Engineers, Inc., USA.
- MSC Software, 2003, “MSC.ADAMS 2003 – Documentation and Help”
- Sharp, R.S., 1991, “Computer Codes For Road Vehicle Dynamic Models”, Institution of Mechanical Engineers Paper 427/16/064, Autotech 91, Birmingham.

## 7. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

# STUDY OF OPTIMIZATION TECHNIQUES AND MULTIBODY SYSTEMS IN VEHICLE DYNAMICS APPLIED TO A CASE STUDY

### Fernando César Gama de Oliveira

Faculty of Mechanical Engineering – Federal University of Uberlândia - Av. João Naves de Ávila, 2160 – Campus Santa Mônica – Bloco 1M – Uberlândia/MG CEP: 38400-902  
fcoliveira@mecanica.ufu.br

### Prof. Dr. José Antônio Ferreira Borges

zeborges@mecanica.ufu.br

**Abstract:** : *The goal of this work is to apply multibody simulation and optimization techniques to vehicle dynamics problems with a case study. The kinematics and dynamics concepts of rigid bodies are important modern engineering tools because they allow the study of position, velocity, acceleration, force and moments acting on system components during operation. Dealing with three-dimensional complicated mechanical systems the use of vector algebra is imperative. In this work the commercial software MSC.ADAMS will be used to model, simulate and optimize the system dynamics by analytical and computational methodologies. The analytical methods consist of a structured process, ally to predictive methods, and know as ‘V’ process: aspiration, definition, analysis, decomposition, synthesis, composition, simulation, confirmation and review. The work itself meets at initial step execution, but some analysis and optimization techniques job are being made to simpler mechanisms. The case studies options are: 1) Simulation and optimization of an off-road vehicle prototype, 2) Design of a radio controlled vehicle virtual prototype with a manipulator, 3) Design of a high performance vehicle virtual prototype.*

**Keywords:** *simulation, optimization, multibody, vehicle dynamics.*