



• SOLUÇÃO ANALÍTICA VERSUS SOLUÇÃO VIA SOFTWARE EM PROBLEMAS DE ENGENHARIA

José Elias Tomazini¹ – tomazini@feg.unesp.br

José Geraldo Trani Brandão¹ – brandao@feg.unesp.br

¹UNESP, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá

Av. Ariberto Pereira da Cunha, 333

12516-410 Guaratinguetá – São Paulo

Carlos Sergio Pivetta² – carlos.pivetta@etep.edu.br

Oswaldo Prado de Rezende² – osvaldo.rezende@etep.edu.br

²CETEC Educacional SA, ETEP Faculdades - Engenharias

Av. Barão do Rio Branco, 882

12232-800 São José dos Campos – São Paulo

Resumo: O presente trabalho apresenta uma discussão sobre a utilização de softwares para solução de problemas de engenharia comparada com solução analítica utilizando leis e princípios básicos da mecânica. Para o processo comparativo foi realizada a modelagem de um automóvel, utilizando duas soluções: uma analítica, através da qual foi obtida a equação diferencial que descreve o movimento do modelo adotado e outra através da utilização do software SimMechanics/Simulink. Para o modelo considerou-se o movimento no plano longitudinal do veículo, para o qual foram adotadas duas coordenadas para descrever o seu movimento: deslocamento vertical e deslocamento angular (pitch). Ambos os métodos apresentam vantagens e desvantagens as quais são discutidas ao longo do trabalho.

Palavras-chave: Ensino de Engenharia, solução analítica, solução via software.

1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas houve uma expressiva evolução dos sistemas computacionais envolvendo hardware e *software*, o que melhorou e simplificou a interação homem-máquina, especialmente nos cursos tecnológicos. Os programas tornaram-se mais amigáveis, facilitando muito a sua utilização, tanto na forma de introdução dos dados de entrada, assim como na análise dos resultados, que na maioria dos casos é apresentada na forma gráfica, com telas coloridas. Os programas chegaram a tal ponto de sofisticação e detalhes na emissão dos resultados que podem levar o usuário a aceitar os resultados como sendo corretos e deixar de analisar com maior profundidade a sua validade.

Na prática da docência da engenharia, observa-se que os alunos tornaram-se mais imediatistas, buscando os resultados finais, sem muito se preocupar com as bases teóricas de determinados temas. Normalmente se interessam por programas mais amigáveis que resolvem

Realização:



Organização:





determinados problemas e que não necessitam de conhecimentos prévios e profundos de bases teóricas. Os programas que possuem ou exigem o conhecimento de nomes de comandos são utilizados apenas por um grupo menor de estudantes, podendo-se citar os programas Matlab, Mathematica, Autolev, entre outros. Os programas que disponibilizam a possibilidade de executar um comando por meio de nome ou por meio de ícone, os alunos, na sua grande maioria, preferem utilizar os ícones. Isto ocorre porque os ícones representam muito mais do que uma simples ação e sim um processo mais completo.

Observa-se grande procura dos estudantes por disciplinas que possuem *softwares* vinculados em suas ementas. Disciplinas como Modelagem 3D, Elementos Finitos são exemplos de disciplinas que são bastante procuradas e que possuem *softwares* vinculados de fácil interação.

Nos anos mais recentes a demanda por melhor qualidade, segurança e rapidez na obtenção dos resultados, aliada ao desenvolvimento de sistemas computacionais, favoreceu uma grande quantidade de trabalhos em dinâmica de multicorpos e o desenvolvimento de vários programas de computador específicos para se estudar a dinâmica de tais sistemas, permitindo o modelamento de sistemas maiores e mais complexos. Pode-se citar exemplos destes programas: ADAMS, DADS, MEDYNA, NEUEUL, AUTOLEV, SD/FAST, AUTOSIM (TOMAZINI, 1997, 2009), os quais permitem a formulação das equações do movimento de modelos complexos que apresentam dificuldades de serem resolvidos analiticamente.

O Matlab é um programa muito popular em computação técnica e científica devido ao seu poder, sua versatilidade em cálculos matemáticos, modelagens, simulações, análises numéricas e visualização gráfica. Num mesmo ambiente é possível realizar a modelagem, a simulação e a representação gráfica dos resultados, permitindo grande redução de tempo de trabalho. Por estas razões, é crescente a utilização do Matlab em universidades, em cursos de matemática, ciências e principalmente nas engenharias. O Matlab disponibiliza também vários pacotes dedicados a certas áreas específicas (*os toolboxes*) como processamento de sinais, cálculos simbólicos, sistemas de controle, lógica fuzzy, entre outros (GILAT, 2006).

Simulink é uma ferramenta totalmente integrada ao Matlab, utilizada para modelagem, simulação e análise de sistemas mecânicos, entre outros. Sua interface constitui uma ferramenta gráfica, utilizando diagramas de blocos, que podem ser personalizados e que permitem projetar, simular, implementar e testar uma variedade de sistemas dependentes do tempo. Empregando-se recursos que possa ser feita a integração com o Matlab, permite-se a possibilidade de trabalho em conjunto. Usando o Simulink e as suas bibliotecas, podem-se construir modelos dos mais variados tipos, incluindo modelos mecânicos, além de elétricos, hidráulicos, etc. (FERRAZ, 2009). Uma ferramenta bastante interessante do Simulink, constituindo um de seus "*toolboxes*" é o SimMechanics. Esta ferramenta apresenta vários tipos de blocos personalizados para a análise de sistemas mecânicos, como blocos de corpos, blocos de elementos de forças, blocos de juntas, blocos de sensores e atuadores, os quais, em conjuntos com os blocos do Simulink, fornecem uma ferramenta poderosa para a análise de sistemas mecânicos (CANALE, ALVARENGA, VIVEROS, 2009).

Apresenta-se neste trabalho a simulação de um sistema mecânico constituído por um veículo com modelo de dois graus de liberdade, sendo excitado quando o mesmo trafega por uma via sobre um obstáculo. Foram utilizados dois procedimentos alternativos: (a) solução analítica, determinando-se as equações do movimento e resolvendo-as; (b) solução utilizando a ferramenta SimMechanics do Simulink/Matlab. Em seguida, é feita uma discussão, do ponto de vista do ensino de engenharia, relativa aos dois procedimentos.



2. METODOLOGIA

A metodologia desenvolvida é apresentada com a solução do problema proposto pelos dois procedimentos. Considera-se um veículo trafegando em uma via com um obstáculo que o excitará fazendo com que ele apresente um movimento de translação na vertical e uma rotação em torno de seu centro de massa. Desta forma o veículo é modelado como tendo dois graus de liberdade: deslocamento vertical $y(t)$, sendo positivo para cima, e deslocamento angular $\theta(t)$, sendo positivo no sentido anti-horário. A Figura 1 mostra o modelo estudado apresentando os parâmetros envolvidos no modelamento e a Tabela 1 apresenta os valores numéricos destes parâmetros.

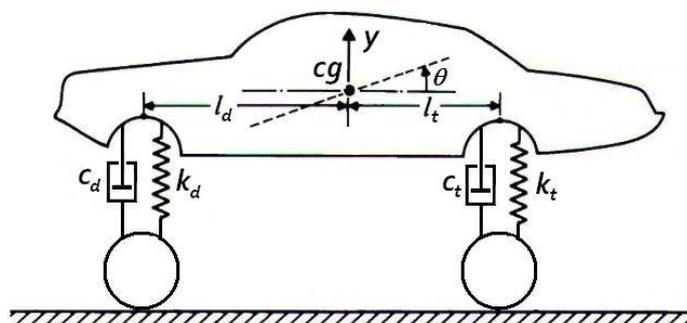


Figura 1 – Modelo do veículo de dois graus de liberdade.

Tabela 1 – Valores numéricos dos parâmetros do veículo.

M	= 900 kg	massa do carro
J	= 1740kgm ²	momento de inércia do carro em relação ao CG
c _d	= 2000Ns/m	coeficiente de amortecimento dianteiro
c _t	= 2000Ns/m	coeficiente de amortecimento traseiro
k _d	= 37180 N/m	coeficiente de rigidez da mola dianteira
k _t	= 41300 N/m	coeficiente de rigidez da mola traseira
l _d	= 1,40m	distância da roda dianteira ao CG
l _t	= 1,20m	distância da roda traseira ao CG

2.1. Procedimento analítico

Aplicando-se as leis de Newton ao modelo do veículo mostrado anteriormente na Figura 1 chega-se à seguinte equação diferencial do movimento na forma matricial:

$$\begin{bmatrix} M & 0 \\ 0 & J \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{y} \\ \ddot{\theta} \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} c_d + c_t & c_d l_d - c_t l_t \\ c_d l_d - c_t l_t & c_d l_d^2 - c_t l_t^2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{y} \\ \dot{\theta} \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} k_d + k_t & k_d l_d - k_t l_t \\ k_d l_d - k_t l_t & k_d l_d^2 + k_t l_t^2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} y \\ \theta \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} F(t) \\ T(t) \end{Bmatrix} \quad (1)$$

onde:



$$\begin{Bmatrix} F(t) \\ T(t) \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} k_d y_{ed} + k_t y_{et} + c_d \dot{y}_{ed} + c_t \dot{y}_{et} \\ k_d l_d y_{ed} - k_t l_t y_{et} + c_d l_d \dot{y}_{ed} - c_t l_t \dot{y}_{et} \end{Bmatrix} \quad (2)$$

Na Equação (2), y_{ed} e y_{et} correspondem a um obstáculo na forma de uma meia onda senoidal, com 1 m de comprimento e 0,1 m de altura.

Solucionou-se a Equação (1) por meio do *software* Matlab, e para isto foi escrito um arquivo com a programação adequada. A Figura 2 contém dois gráficos ilustrando os resultados da simulação, sendo a Figura 2(a), o deslocamento $y(t)$ e a Figura 2(b), o deslocamento angular $\theta(t)$.

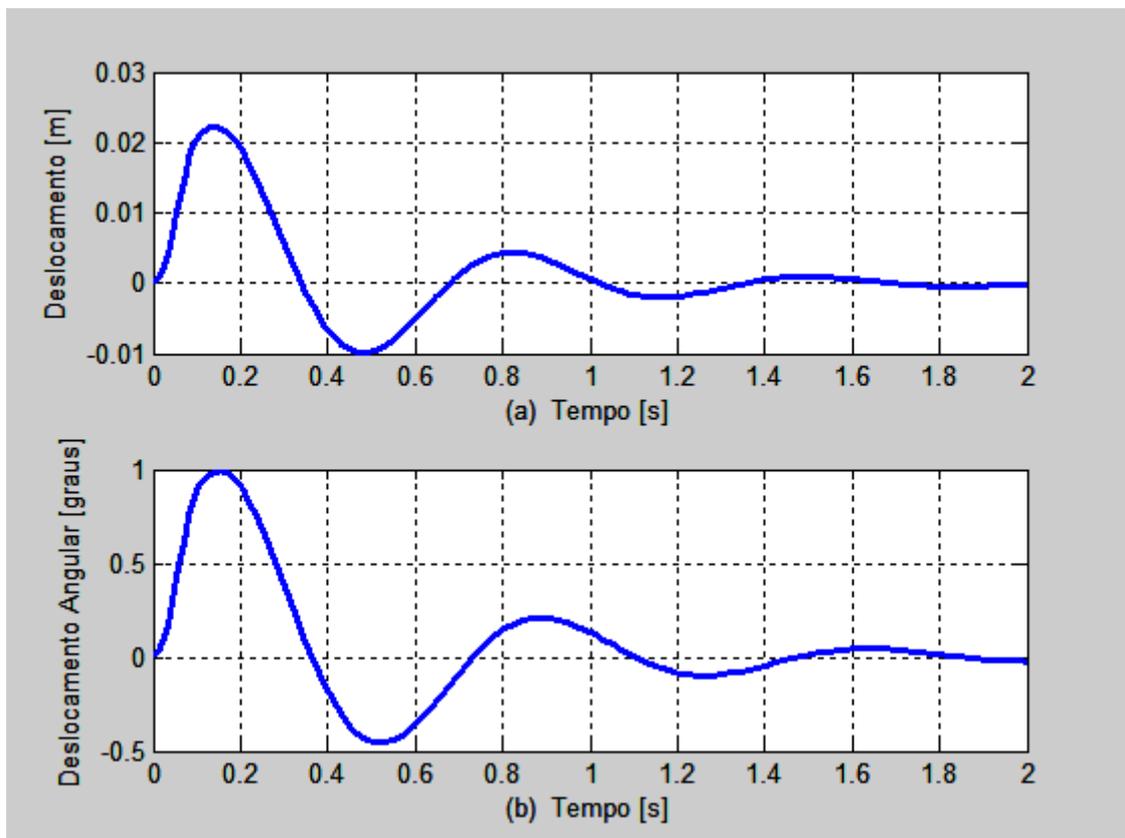


Figura 2 – Resultados da simulação do procedimento analítico.

2.2 Procedimento utilizando o SimMechanics

A solução utilizando o *software* SimMechanics, foi conduzida efetuando um diagrama de blocos contendo três blocos de corpos: duas rodas e o corpo principal do carro. Foram utilizadas duas juntas prismáticas entre as rodas e o corpo principal e uma junta de translação e rotação para permitir o movimento do corpo principal. Entre as rodas e o corpo principal foram colocados elementos de forças de mola e de amortecedor. Foram utilizados também blocos atuadores para introduzir a excitação, assim como blocos sensores para a obtenção dos resultados. Para a excitação foram utilizados os blocos do Simulink. A Figura 3 mostra o diagrama de blocos do modelo e a Figura 4 o diagrama de blocos da excitação.

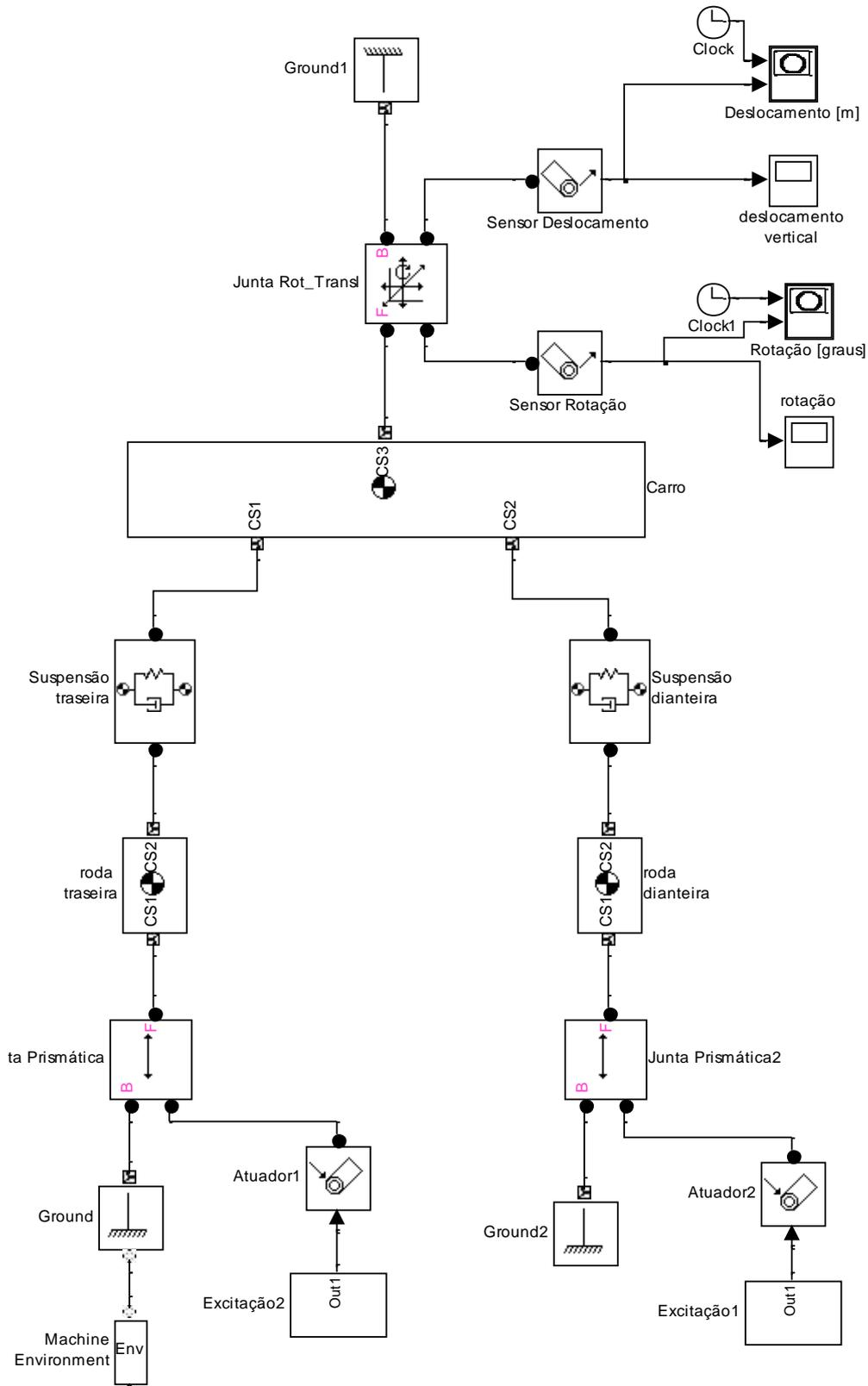


Figura 3 – Diagrama de blocos do modelo.

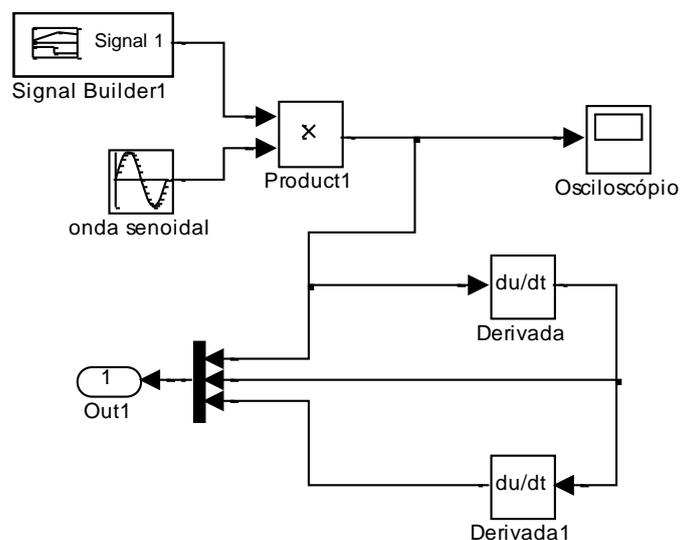


Figura 4 – Diagrama de blocos da excitação.

A simulação do modelo foi realizada e os resultados estão apresentados na Figura 5 que contém dois gráficos ilustrando os resultados da simulação, sendo a Figura 5(a), o deslocamento $y(t)$ e a Figura 5(b), o deslocamento angular $\theta(t)$.

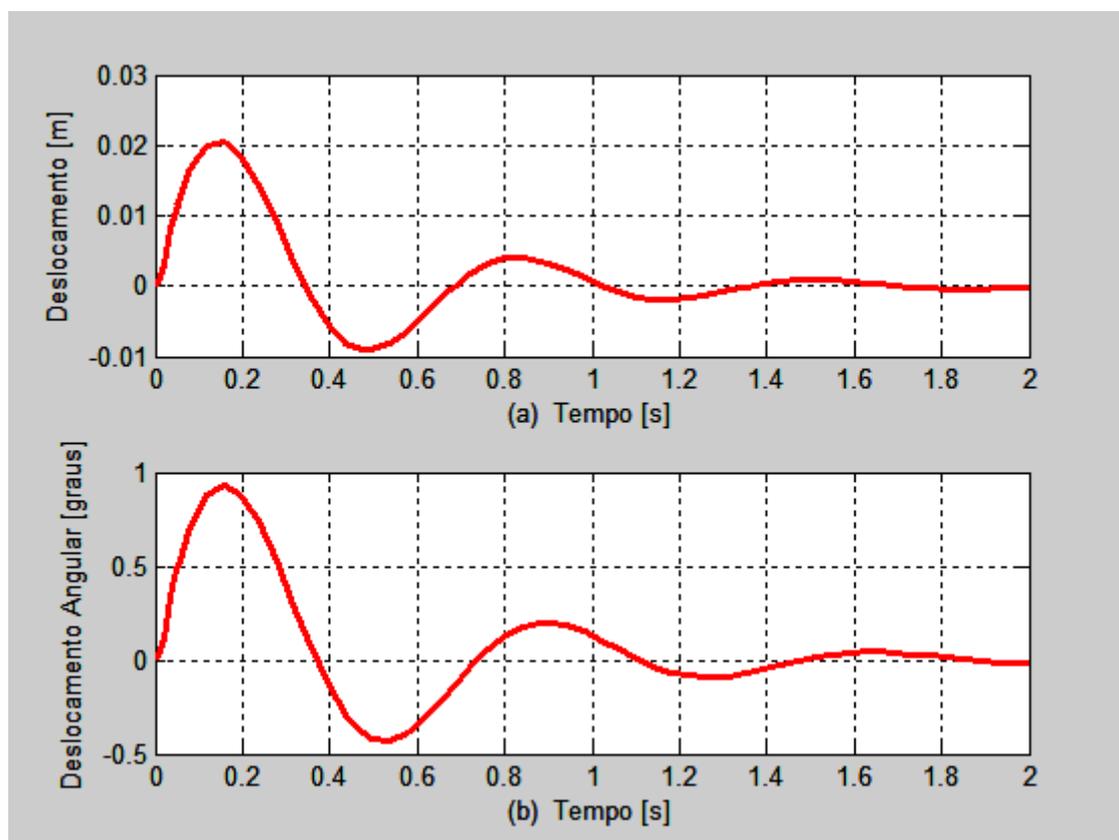


Figura 5 – Resultados da simulação do procedimento usando o SimMechanics.



3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Naturalmente os resultados obtidos com a solução através dos dois procedimentos foram praticamente os mesmos, mas este não é o foco da discussão. Com relação ao tempo necessário para a modelagem e a simulação do problema proposto, a solução via *software* é muito mais rápida, principalmente para um usuário experiente. Com relação à dificuldade, realizar o modelamento a mão é mais trabalhoso e facilmente o estudante pode ser levado a erros. O problema se complica quando o número de corpos envolvidos assim como o número de graus de liberdade aumenta. A solução do problema sem a utilização de um *software* pode-se tornar impraticável.

De uma maneira geral, em todas as áreas, tem-se desenvolvido *softwares* que facilitam a vida dos profissionais. Na Engenharia podem-se fazer cálculos estáticos e dinâmicos de estruturas em poucos minutos com uma modelagem simples e com programas de fácil interação, fazendo com que os engenheiros, em pouco tempo, aprendam a “confiar” nos resultados obtidos.

O maior problema deste tipo de modelamento é a falta de necessidade de se conhecer os princípios básicos e leis que regem os fenômenos físicos envolvidos na obtenção das equações, que são a espinha dorsal da resolução da maioria dos problemas.

Algumas vezes, a falta de conhecimentos básicos e do domínio destes princípios e teorias leva, não apenas os estudantes, que estão em fase de formação, mas também os engenheiros, que na sua formação foram estimulados a utilizarem *softwares* na resolução de problemas, à análises mal conduzidas.

Do ponto de vista didático e da rapidez na abordagem de muitos problemas, a utilização de *softwares* é, sem dúvida, um grande avanço, mas cada vez mais os conhecimentos das teorias básicas, leis e princípios da física estão sendo subestimados.

O curso de engenharia forma profissionais que obtém atribuições que permitem executar desde cálculos de projetos simples até os mais complexos de grande responsabilidade. Estes projetos podem colocar em risco seres humanos, o meio ambiente e bens materiais. Desta forma é importante que, em paralelo com o aprendizado da utilização de *softwares*, os quais facilitam a vida do futuro engenheiro, seja feita uma análise criteriosa dos resultados obtidos, principalmente no início da carreira, quando a falta de experiência, aliada com a falta de conhecimentos, venha a levá-lo a resultados que comprometam a integridade de estruturas mecânicas e que possam colocar em risco vidas humanas.

De forma não extremista, pode-se dizer que o desenvolvimento da tecnologia e conseqüentemente de novos *softwares*, que necessitam de grandes teorias envolvidas, ficam cada vez mais nas mãos dos detentores de conhecimento.

Portanto, o ensino da engenharia deve cada vez mais solidificar os conhecimentos dos estudantes, que devem ser estimulados a dominar não só e simplesmente os *softwares*, mas solidificar seus conhecimentos para o bem da ciência e do desenvolvimento tecnológico.

Logicamente a utilização de *softwares* é extremamente importante e necessária, tendo em vista o grau de sofisticação que se pode obter na modelagem de sistemas mecânicos, o que dificultaria muito a sua resolução de forma analítica e a mão. Assim, na prática do ensino da engenharia, torna-se cada vez mais vital o aprendizado de *softwares* que facilitem a vida do engenheiro na sua vida profissional. No entanto é igualmente importante o aprendizado dos princípios básicos para que o usuário do *software* tenha sensibilidade e conteúdo teórico para a verificação e análise dos resultados.



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CANALE, A. C.; ALVARENGA, G. S.; VIVEROS, H. P.. **Modelagem e análise de um veículo articulado utilizando a técnica dos multicorpos de SimMechanics em Matlab/Simulink**, Revista Minerva, 6(3), 2009.

FERRAZ, J. M. R. P.. **Laboratório virtual de sistema de controlo**. 2009. Dissertação de Mestrado. Universidade de Aveiro, Portugal, 2009.

GILAT, A.. **Matlab com aplicações em Engenharia**, 2a.Ed. Artmededitora S.A., 2006.

KANE, T. R.; LEVINSON, D. A..**Dynamics: Theory and Applications**. 1^a.ed. New York:McGraw-Hill, 1985. p.

RAO, S.. **Vibrações Mecânicas**, 4a.Ed. Pearson/Prentice Hall., 2009.

SCHIEHLEN, W.. Computational dynamics: theory and applications of multibody systems. **European Journal of Mechanics A/Solids**, v.25, p566-594, 2006.

SHABANA, A. A., **Dynamics of Multibody System**. 3rd ed. Cambridge University Press, 2005.p.

TOMAZINI, J. E..**O Método de Kane aplicado a um modelo de corpo humano para obtenção da pressão intradiscal na coluna lombar**. 2009. 120 f. Tese (Livre-Docência em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, UNESP, Guaratinguetá, 2009.

TOMAZINI, J. E..**O modelo multicorpo aplicado a um manipulador: modelo rígido e flexível**. 1997. 126 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica – Dinâmica) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1997.

ANALYTICAL SOLUTION VERSUS SOLUTION USING SOFTWARE IN ENGINEERING PROBLEMS

Abstract: This paper presents a discussion of the use of software to solve engineering problems compared to analytical solution using basic laws and principles of mechanics. Forth e comparative process it was performed the modeling of an automobile, using two solutions: an analytical one where it was obtained the differential equation describing the motion of the model and the other one using the software SimMechanics / Simulink. For the model it was considered the motion in the longitudinal plane of the vehicle, for which it was adopted two coordinates to describe its movement: vertical displacement and angular displacement (pitch). Both methods have advantages and disadvantages which are discussed throughout the paper.

Keywords: Engineering Education, analytical solution, solution via software.