

Dinâmica de Veículos Terrestres Constituídos de subsistemas Dinâmicos Embarcados

Gilmar Diogo Guedes, cordaotresdobras@yahoo.com.br¹
Fernando Ribeiro da Silva, d4fernan@ime.eb.br²

¹Instituto Militar de Engenharia, Praça General Tibúrcio 80, Praia Vermelha, Rio de Janeiro - RJ - CEP 22290-270

²Instituto Militar de Engenharia, Praça General Tibúrcio 80, Praia Vermelha, Rio de Janeiro - RJ - CEP 22290-270

Resumo: A literatura tem apresentado diversos modelos que visam simular o comportamento de veículos terrestres que trafegam nas mais variadas formas de terrenos. Em geral esses veículos são considerados corpos rígidos, no caso dos monoblocos, ou corpos flexíveis, no caso de veículos pesados do tipo ônibus ou caminhões. De qualquer forma, esses modelos somente fazem uma abordagem do veículo como um todo, sendo considerado um único sistema dinâmico. Este trabalho propõe uma sistemática de análise modular para que o sistema veículo e o subsistema dinâmico a ele instalado sejam modelados de forma modular permitindo suas análises isoladas e, posteriormente, em conjunto. O modelo utilizado como exemplo de aplicação do procedimento modular é o de uma viatura militar onde foi instalado o suporte de uma metralhadora. As características dinâmicas da viatura, da estrutura do suporte e do armamento são consideradas no modelo. O procedimento de modelagem é o da técnica dos grafos de ligação que facilitam a representação do correspondente diagrama de blocos.

Palavras-chave: Dinâmica; Veículos; Subsistemas Embarcados; grafos de ligação; diagramas de blocos.

1. INTRODUÇÃO

Os veículos Off-Road ganham destaque dentro das Forças Armadas tanto pela possibilidade de emprego em diversos terrenos e situações, quanto pela utilização de armamentos nestas viaturas. Na **FIG.1.1** são apresentadas viaturas utilizadas pela Marinha do Brasil, a saber, Toyota Bandeirantes (a), Agrale Marruá (b) e Land Rover Defender (c), cujas fotos estão disponíveis no próprio site da Marinha.



FIG. 1.1- Viaturas leves (1/2 Ton) pertencentes à Marinha do Brasil.

Na **FIG. 1.2** são apresentadas viaturas Land Rover do Exército Britânico equipadas com lançador de Granadas 40mm MK-19 e Metralhadora MAG (a) e com Mtr .50 e Metralhadora MAG (b), disponibilizadas no site do Exército Britânico.



FIG.1.2- Viaturas empregadas pelo Exército Inglês.

O objetivo deste trabalho é o desenvolvimento de um procedimento de modelagem modular para simulação e análise do comportamento dinâmico de um sistema constituído por uma viatura leve sobre a qual é instalada uma metralhadora calibre .50 (12.7mm). Basicamente o sistema consiste de três subsistemas: o veículo, o suporte da metralhadora e a metralhadora. A **FIG.1.3** apresenta uma a Metralhadora .50 acoplada a um reparo terrestre modelo tripé, sendo que, neste trabalho será considerada um modelo preliminar na forma de uma viga plana engastada na viatura.



FIG.1.3. Metralhadora .50 com reparo terrestre.

Inicialmente, cada um desses sistemas será modelado e analisado isoladamente. Em seguida, será proposto o modelo global obtido pela interação dinâmica entre os três subsistemas. Esse modelo será analisado considerando-se algumas das diversas condições de operação da viatura em estudo. Para a modelagem será adotada a metodologia dos Grafos de Ligação e como ferramenta computacional será utilizado o software MatLab/Simulink/. A **FIG.1.4** apresenta de forma genérica a caracterização do problema, podendo ser observados os subsistemas que compõe o conjunto proposto e suas interações em termos de variáveis de potência (Esforço e Fluxo) representadas pelas setas.

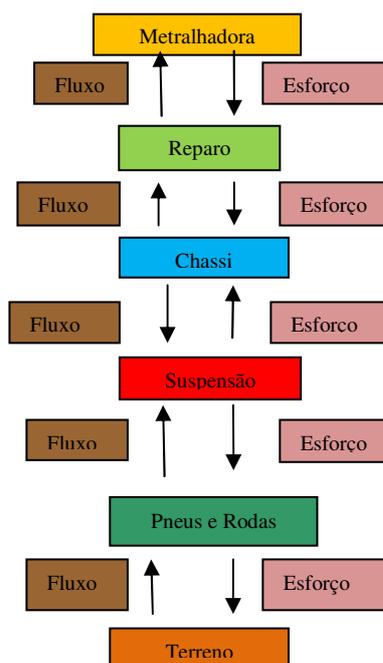


FIG.1.3 – Caracterização Genérica do Problema

2. MODELO FÍSICO

Será utilizado um modelo preliminar composto por três subsistemas, a saber, um sistema Massa-Mola-Amortecedor representando a metralhadora, uma viga plana representando o reparo e um esquema de veículo com quatro graus de liberdade representando a viatura. Para este modelo, especificamente, algumas considerações serão feitas: a trajetória a ser percorrida será plana, o modelo será plano, será analisada somente a dinâmica vertical e os subsistemas componentes possuem comportamento linear e alguns serão tratados como componentes equivalentes. A **FIG.2.1.** apresenta os subsistemas componentes, sem ainda estarem acoplados, onde são representados a Metralhadora (a), o reparo por uma viga plana (b) e a viatura por um veículo plano de 4 graus de liberdade (c). Cabe ressaltar que o reparo está sendo representado por uma viga plana discretizada em 2 elementos estruturais com três

nós, tendo cada nó 3 graus de liberdade, ou seja, ao todo 9 (nove) graus de liberdade, sendo 3(três) de rotação e 6(seis) de translação.

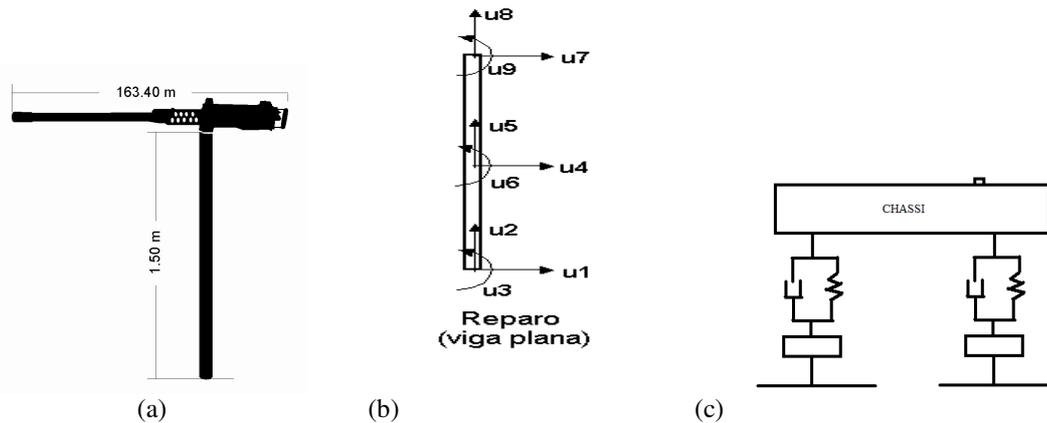


FIG.2.1- Subsistemas componentes

Os subsistemas ao serem acoplados serão analisados da seguinte forma: a metralhadora estará acoplada em uma viga plana e esta engastada ao chassi da viatura. A excitação deste sistema será por meio de uma Força (F) oriunda do disparo da metralhadora. Todo o conjunto será modelado por meio de Grafos de Ligação e sua implementação computacional será executada em Matlab/ Simulink®, utilizando Diagramas de Blocos. O modelo utilizado em todas as simulações será o modelo da dinâmica vertical.

3. MODELO DO GRAFO DE LIGAÇÃO E DIAGRAMA DE BLOCOS

Segundo Da Silva e Ferreira (2006), a metodologia dos grafos de ligação de sistemas físicos (mecânicos), juntamente com os diagramas de blocos proporcionam a construção de blocos que estejam diretamente relacionados aos componentes físicos do sistema que representam, com suas relações constitutivas previamente definidas, e em seguida, montados de acordo com as relações de compatibilidade e de continuidade do sistema, dadas pelos elementos de junções do grafo. Além disso, também confere uma grande condensação à representação, por ser possível se descrever qualquer sistema com um número muito reduzido de blocos.

Segundo Costa Neto (2008), em um modelo dinâmico mecânico pode-se sempre definir como variáveis de saída esforços (forças e momentos) e fluxos (velocidades e rotações). Se além das variáveis de saída, as variáveis de entrada também forem esforços e fluxos, este modelo poderá ser acoplado a outros representados da mesma forma, desde que as condições de compatibilidade entre as entradas de um modelo e as saídas de outro sejam respeitadas. Consegue-se assim obter modelos de sistemas complexos a partir de seus subsistemas, sem que seja necessário determinar as equações analíticas resultantes do acoplamento entre os subsistemas.

Ainda segundo Costa Neto (2008), a subdivisão de um veículo em módulos é muito útil quando se quer estudar o comportamento dinâmico de um determinado subsistema e sua influência nos demais componentes. Em alguns casos, devido ao tipo de tratamento empregado para descrever os elementos, não se consegue perceber de que modo as variáveis inerentes a um subsistema interagem com as demais, e, por conseguinte, os subsistemas entre si. A abordagem modular baseada no fluxo de potência permite uma melhor identificação das relações de causa e efeito entre subsistemas, uma vez que podem ser definidas, de forma clara e consistente, quais são as variáveis de entrada e de saída de cada componente ou módulo, e, conseqüentemente, seus acoplamentos.

Por meio da técnica adotada dos grafos de ligação é possível realizar o acoplamento entre subsistemas, o que permite, por exemplo, a substituição de um de seus subsistemas por outro, sem que os demais se alterem, desde que sejam definidas claramente suas variáveis de entrada e de saída, como também a possibilidade de se analisar com facilidade um subsistema em separado dos demais. Estas possibilidades de substituição e análise permitem afirmar que a utilização da técnica dos grafos de ligação torna o sistema modular.

Na **FIG.3.1** estão representados, por meio da Técnica dos Grafos de Ligação, os subsistemas componentes do modelo, a saber, a metralhadora, o reparo, o chassi, a suspensão, as rodas, os pneus e a pista, podendo ser identificados os esforços e fluxos transmitidos entre os subsistemas.

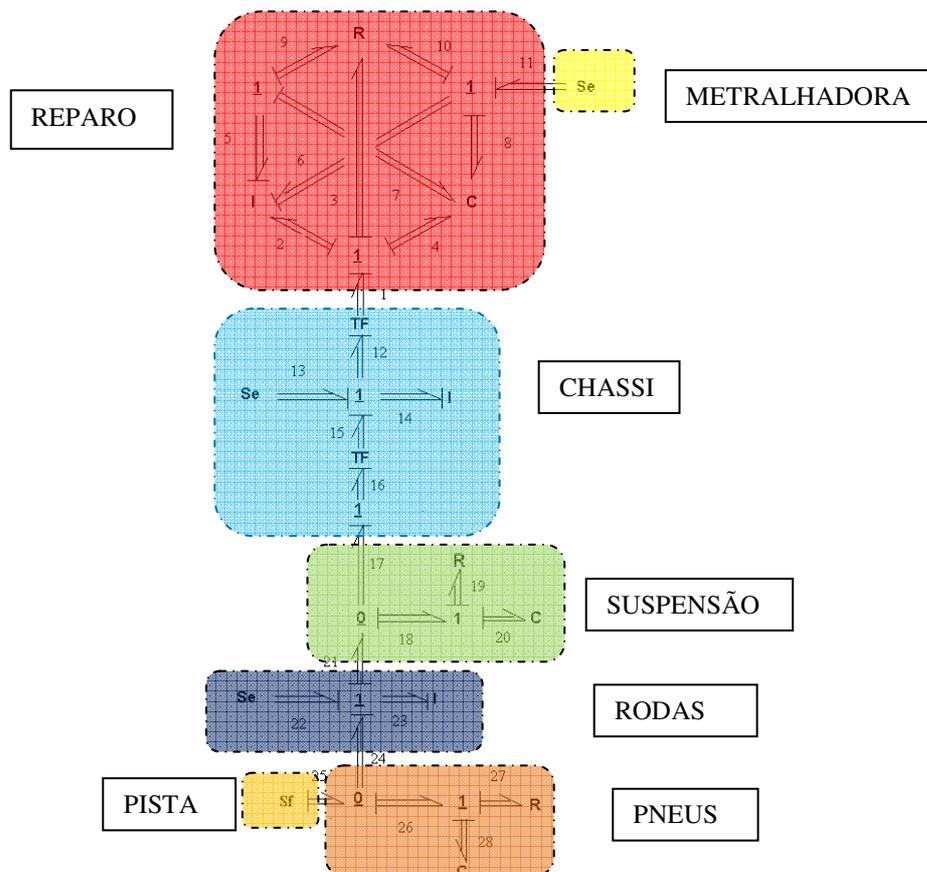


FIG.3.1- Grafo de Ligação detalhando os subsistemas componentes

Nos grafos de ligação dos subsistemas componentes são encontrados campos inerciais, resistivos e capacitivos, fontes de esforços, fontes de fluxo e transformadores. Para melhor entendimento, nos pneus, os campos resistivo e capacitivo representam, respectivamente, a rigidez e o amortecimento. Nas rodas, o campo inercial representa a massa. Na suspensão, o campo resistivo e capacitivo representam, respectivamente, as molas e os amortecedores. No chassi, o campo inercial representa a massa do chassi, enquanto os transformadores (TF) representam as distâncias entre os pontos de aplicação dos esforços relacionados ao centro de gravidade da viatura e em relação ao ponto de acoplamento do reparo no chassi. Com relação à pista e à metralhadora, a fonte de fluxo (Sf) representa a velocidade transmitida para a viatura por meio dos pneus, enquanto que a fonte de esforço (Se) representa a força transmitida pela metralhadora para o reparo, por ocasião do disparo da mesma. Finalizando, no reparo, os campos inercial, capacitivo e resistivo representam, respectivamente, a massa do reparo, o amortecimento proporcional da estrutura e a rigidez da estrutura.

A FIG.3.2 apresenta o Diagrama de Blocos do conjunto formado pelo acoplamento de seus subistemas, sendo o Bloco representativo da metralhadora ressaltado em verde, o do reparo em bege, o da viatura em vermelho e da pista em azul.

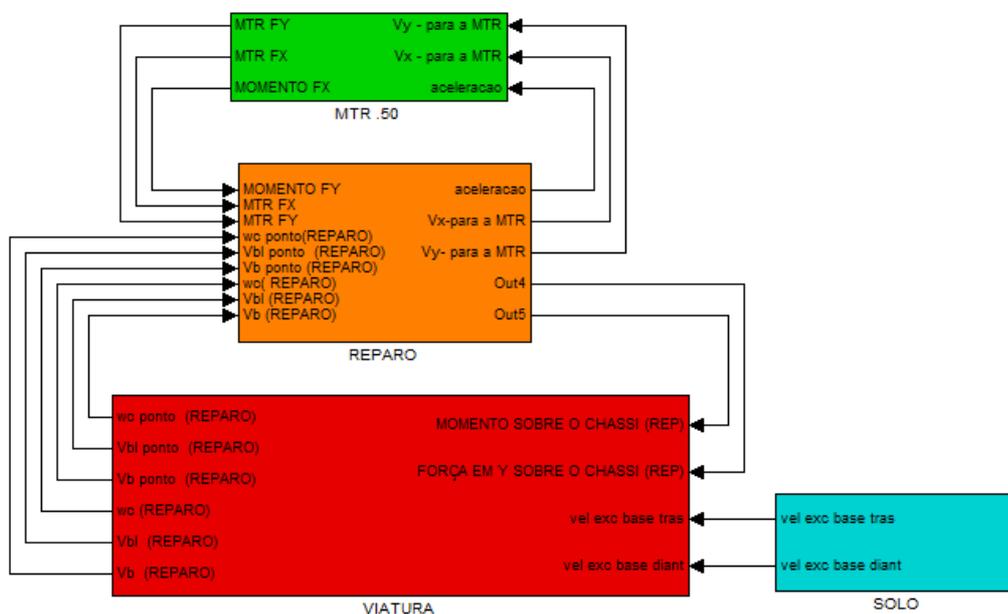


FIG.3.2- Diagrama de Blocos do Conjunto Viatura/Reparo/Armamento/Solo

4. EQUACIONAMENTO E RESULTADOS ESPERADOS

Para o equacionamento do Reparo foi selecionado o conceito de Grafo Multi-Ligação de uma estrutura genérica, originalmente proposto por Da Silva e Speranza Neto(1993), de acordo com a FIG.4.1.

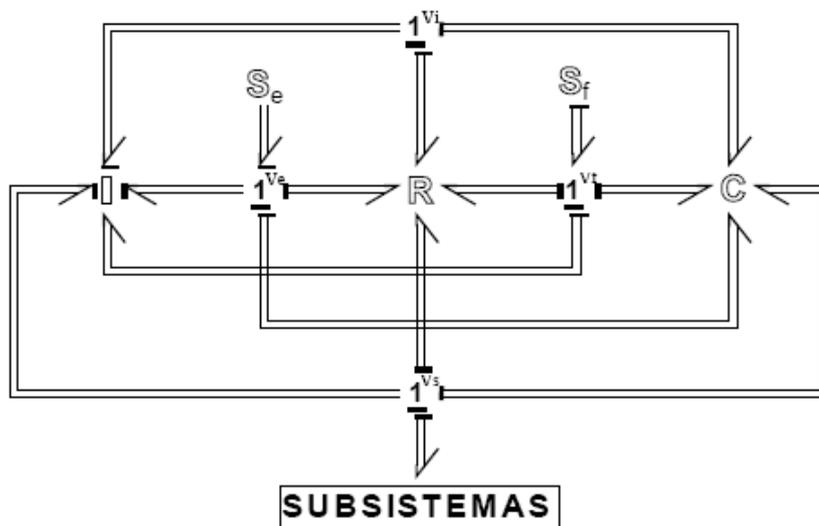


FIG.4.1 Grafo multiligação genérico para estruturas.

De acordo com os autores, as matrizes de massa M, rigidez K e amortecimento B, identificadas como matrizes globais da estrutura por meio do método dos elementos finitos, estão relacionadas, respectivamente, com os campos inercial (I), capacitivo(C) e resistivo (R) abordado pela Técnica dos Grafos de Ligação, por meio de um particionamento das matrizes dos elementos finitos, já mencionadas. Tendo por base as matrizes globais da estrutura do reparo e após ter sido feito o particionamento destas, chegou-se ao modelo de estado explicitado pelas Eq.4.1 e Eq.4.2.

$$\begin{bmatrix} \dot{p}_5 \\ p_6 \\ \dot{q}_4 \\ q_7 \\ \dot{q}_8 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -R_{11}\bar{I}_{11} - R_{12}\bar{I}_{21} & -R_{11}\bar{I}_{12} - R_{12}\bar{I}_{22} & -C_{13} & -C_{11} & -C_{12} \\ -R_{21}\bar{I}_{11} - R_{22}\bar{I}_{21} & -R_{21}\bar{I}_{12} - R_{22}\bar{I}_{22} & -C_{23} & -C_{21} & -C_{22} \\ N(3X3) & N(3X3) & N(3X3) & N(3X3) & N(3X3) \\ \bar{I}_{11} & \bar{I}_{12} & N(3X3) & N(3X3) & N(3X3) \\ \bar{I}_{21} & \bar{I}_{22} & N(3X3) & N(3X3) & N(3X3) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p_5 \\ p_6 \\ q_4 \\ q_7 \\ q_8 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -R_{13} & N(3X3) \\ -R_{22}\bar{I}_{23} - R_{23} & ID \\ ID & N(3X3) \\ \bar{I}_{13} & N(3X3) \\ \bar{I}_{23} & N(3X3) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f_1 \\ e_{11} \\ \dot{f}_2 \end{bmatrix} \quad (4.1)$$

$$\begin{bmatrix} e_1 \\ f_{11} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} O & P & Q & R & S \\ \bar{I}_{21} & \bar{I}_{22} & \bar{I}_{23} & N(3X3) & N(9X3) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p_5 \\ p_6 \\ q_4 \\ q_7 \\ q_8 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} T & -D & E \\ N(3X3) & N(3X3) & N(3X3) \\ N(3X3) & N(3X3) & N(3X3) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f_1 \\ e_{11} \\ f_2 \end{bmatrix} \quad (4.2)$$

Este modelo de estado faz parte do bloco referente ao reparo. Pelo diagrama de blocos constantes na FIG.3.2, pode-se perceber que existem nove (9) entradas para o bloco reparo, o que de fato corresponde ao modelo de estado logo acima apresentado, pois como se pode observar existem três (3) variáveis de entrada no sistema, a saber, f_1 , e_{11} e f_2 que são matrizes quadradas de ordem 3, sendo desta forma uma matriz quadrada de entradas de ordem 9, ou seja, nove entradas. Com este modelo de estado, pode-se também verificar o comportamento do reparo como subsistema em separado pela técnica dos grafos de ligação, ou realizar o seu acoplamento ao restante do subsistema, no caso em tela, ao chassi da viatura, que está demonstrado nas FIG.3.1 e FIG.3.2, bastando serem respeitadas as entradas e saídas dos subsistemas. Com este acoplamento o modelo dinâmico permite analisar os subsistemas separadamente e em conjunto. Como exemplo, pode-se analisar o comportamento da suspensão da viatura quando submetida aos esforços produzidos pelo disparo da metralhadora. Pode-se ainda ser analisada a localização mais adequada para a instalação do reparo, como também se produzir um modelo físico de reparo para a instalação da metralhadora. Por conta da modularidade proposta por este modelo, pode-se ainda realizar a instalação de outro armamento na viatura sem serem alterados os demais subsistemas e desta forma realizar a análise do novo sistema, dentre outras análises que podem ser realizadas.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Pela facilidade oferecida pela modelagem via Grafo de Ligação torna-se possível, a partir de um modelo plano simples, ainda que faltem outros fatores a serem considerados, como a dinâmica horizontal da viatura, o comportamento do sistema metralhadora, ora sendo considerada meramente uma massa, o modelo permite obter parâmetros satisfatórios no comportamento dos sistemas considerados, demonstrando desta forma a praticidade e confiança neste modelo confeccionado via Grafos de Ligação por meio dos Diagramas de Blocos. Uma outra característica importante neste tipo de modelagem é a modularidade entre os subsistemas componentes, onde se pode analisar um componente em separado ou até mesmo substituí-lo por outro, bastando para tal serem respeitadas as devidas condições. Desta forma o presente trabalho contribuirá positivamente na área acadêmica, pois se encontra vasta literatura sobre a modelagem veicular, porém em menor quantidade, sobre o tipo de modelo proposto neste trabalho.

6. REFERÊNCIAS

- Costa Neto, R. T., Modelagem e Integração dos Mecanismos de Suspensão e Direção de Veículos Terrestres Através do Fluxo de Potência (Doutorado em Engenharia Mecânica) PUC, Rio de Janeiro, 2008.
- Da Silva, F.R. e Ferreira, F.G., Proposta de uma Metodologia Modular para a Modelagem e Simulação de Sistemas Mecânicos apresentada no 16º POSMEC (Simpósio de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica), Uberlândia, 2006.
- Manual Viatura Agrale Marruá, Caxias Do Sul, 2008.
- Manual do Curso de Mecânico de Armamento do Corpo de Fuzileiros Navais, Centro de Instrução Almirante Sylvio de Camargo, Rio de Janeiro, 2007.
- Site da Marinha do Brasil, www.mar.mil.br/cgcfm/cmat/viaturas/viaturasop.htm, 2010.
- Site do Exército Inglês, www.army.mod.uk/, 2010.

7. DIREITOS AUTORAIS

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

Dynamic ground vehicle subsystems Dynamic Embedded

Gilmar Diogo Guedes, cordaotresdobras@yahoo.com.br¹
Fernando Ribeiro da Silva, d4fernan@ime.eb.br²

¹Instituto Militar de Engenharia, Praça General Tibúrcio 80, Praia Vermelha ,Rio de Janeiro - RJ - CEP 22290-270

²Instituto Militar de Engenharia, Praça General Tibúrcio 80, Praia Vermelha ,Rio de Janeiro - RJ - CEP 22290-270

Abstract: *The literature has presented several models that simulate the behavior of ground vehicles that travel in the most varied forms of land. Generally these vehicles are considered rigid bodies, in the case of the boxes, or flexible bodies, in the case of heavy-type buses or trucks. Anyway, these models are only one approach the vehicle as a whole, is considered a single dynamic system. This paper proposes a systematic analysis of the modular vehicle system and subsystem dynamic he installed are modeled in a modular fashion allowing their individual evaluations and then together. The model used as an example of application of the modular is a military vehicle where it was installed the support of a machine gun. The dynamic characteristics of the vehicle, the structure of support and armaments are considered in the model. The procedure of modeling is the technique of bond graphs that facilitate the representation of the corresponding block diagram.*

Key- Words: *Dynamics; Vehicles; EmbeddedSubsystems, bondgraphs, blockdiagrams.*



VI CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA
VI NATIONAL CONGRESS OF MECHANICAL ENGINEERING
18 a 21 de agosto de 2010 – Campina Grande – Paraíba - Brasil
August 18 – 21, 2010 – Campina Grande – Paraíba – Brazil

I