



21-25
AGOSTO DE 2016
FORTALEZA - CEARÁ

SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DA DINÂMICA VERTICAL DE UM VEÍCULO OFF ROAD UTILIZANDO MODELOS MULTICORPOS

Diego David Silva Diniz, diego.diniz@ufersa.edu.br¹

Antonio Almeida Silva, antonio.almeida@ufcg.edu.br²

Alan Gonçalves Paulo e Silva, alangs1@gmail.com³

¹ Universidade Federal Rural do Semi-Árido – Campus Caraúbas, RN 233, KM 01, Sítio Nova Esperança II, CEP: 59700-000, Caraúbas/RN – Brasil,

² Universidade Federal de Campina Grande, Av. Aprígio Veloso, 882, Bodocongó, CEP 58429-900, Campina Grande/PB – Brasil,

³ Universidade Federal da Paraíba, Cidade Universitária, s/n, Castelo Branco, 58051-900, João Pessoa/PB – Brasil.

Resumo: Atualmente, o desenvolvimento da indústria automotiva e uma maior exigência do mercado estimularam a intensificação dos estudos na dinâmica veicular, levando os fabricantes a focarem seus esforços em produzir e otimizar tecnologias capazes de obter veículos mais rápidos, seguros e confortáveis. Com a evolução da computação, tornou-se viável a realização de simulação numérica para modelos complexos de veículos que fosse capaz de otimizar e compreender o real comportamento dinâmico do veículo submetido às situações adversas. Dentro desse contexto, este trabalho visa apresentar um estudo de modelagem computacional (modelo multicorpos) aplicados para avaliação do comportamento dinâmico vertical de um veículo do tipo off-road (Baja) com suspensão dianteira e traseira do tipo duplo A. Mediante os parâmetros reais do objeto de estudo, foram construídos e simulados os modelos matemáticos do carro completo no ambiente multicorpos do software MSC ADAMS CAR. Como resultados, foram avaliadas a o comportamento da massa suspensa para a pressão interna dos pneus (6 psi) e a variação das rigidezes das molas em uma excitação do tipo swept sine. Nas simulações, destaca-se a variação do comportamento vertical do veículo quando se aplica o critério de Olley na rigidez das molas de suspensão e a sensibilidade do modelo perante a não simetria do posicionamento do centro de massa do veículo. Estes tipos de estudos tornam imprescindíveis para obtenção de um melhor entendimento dos fenômenos existentes, durante situações que um veículo off road são submetidos.

Palavras-chave: Dinâmica Vertical, Veículo Off-Road, Sistema Multicorpos.

1. INTRODUÇÃO

Os estudos na área da dinâmica veicular vêm sendo realizados desde o início da indústria automobilística, entretanto as pesquisas sobre este assunto vêm apresentando uma maior intensidade nas últimas décadas, visando obter resultados que permita ter um veículo com maior segurança e desempenho em condições adversas impostas pelo solo. Assim, pode-se constatar que, na atualidade, a continuidade dos avanços na indústria da mobilidade é condicionada pelo grau de competitividade dos seus produtos, tanto no mercado nacional como internacional. Essa competitividade é baseada nos requisitos de qualidade, custo e tempo, fatores que são diretamente associados à função de projeto (Bassetto, 2000).

Neste ponto de vista, o sucesso da indústria automotiva está conectado justamente na aplicação de novos conceitos, métodos e tecnologia, durante as fases de projeto e desenvolvimento do produto, de modo que se deve dar certa importância na predição do desempenho de um sistema veicular antes da construção de um protótipo físico.

Assim, a indústria automobilística, com o auxílio da modelagem computacional, pode realizar já na fase de projeto uma simulação numérica de modelos complexos de veículos, com a inclusão de não linearidades (Esmailzadeh, 1996). Durante as últimas décadas, vários modelos não lineares de veículos foram desenvolvidos utilizando modelos com muitos graus de liberdade a fim de avaliar seu comportamento dinâmico (Soares, 2005). Dentre eles, destaca-se o método de sistemas multicorpos (*Multibody System – MBS*).

O método MBS é capaz de caracterizar o comportamento de um sistema por meio de equações dinâmicas de movimento de cada componente que a compõe. Estas são compostas por um conjunto de equações diferenciais,

eventualmente acrescidas de algumas equações algébricas. A resolução de equações segue as seguintes etapas: arranjo das equações diferenciais com restrições algébricas; equações não lineares resolvidas pelo método iterativo de Newton-Raphson, sistema linear de equações, eliminação gaussiana, decomposição, pivotamento e redimensionamento, matrizes esparsas e decomposição simbólica. Nesse contexto, os sistemas multicorpos se apresentam como uma poderosa ferramenta para a compreensão do comportamento e a performance dinâmica de um veículo. Atualmente, o MBS é aplicado em diversos softwares comerciais responsáveis pela caracterização do comportamento dinâmico de veículos, tais como o ADAMS e o CARSim.

Baseando-se nessa realidade, o propósito deste trabalho é avaliar o comportamento dinâmico de um veículo *off-road* do tipo Baja na dinâmica vertical, por meio de modelos multicorpos, através do software comercial licenciado ADAMS car, com os objetivos de avaliar o desempenho do protótipo, mediante as alterações de parâmetros de suspensão.

2. SUSPENSÕES AUTOMOTIVAS

As suspensões veiculares surgiram na aplicação em carruagens, na tentativa de ser o elemento mecânico capaz de absorver energia vertical provenientes das irregularidades da pista, mantendo, assim, a maximização do contato pneu-solo. O critério mais importante para um sistema de suspensão é o contato entre os pneus e a estrada, pois, caso não haja contato nas manobras de aceleração, travagem e curva serão impossíveis de serem realizadas (Heibing & Ersoy, 2005). A ideia de ter um sistema capaz de armazenar energia no veículo, ainda segue o mesmo princípio básico nas suspensões automotivas atuais.

Dentre as suspensões atuais mais utilizadas em veículos *off-roads*, destaca-se a suspensão duplo A, também conhecida como SLA (*Short Long Arm*), *Double Wishbone*. A suspensão duplo A, ilustrada na Fig. 1, é uma suspensão do tipo independente, que pode ser utilizada na dianteira ou na traseira do veículo. A mesma é composta por dois braços de controles transversais em cada lado do veículo, que realiza a conexão da manga de eixo com o chassi. Um dos braços também tem a função de suportar o amortecedor e a mola de modo a absorver as vibrações vindas do solo.



Figura 1. Suspensão duplo A.

A suspensão duplo A é considerada pelos projetistas, por ter um arranjo geométrico e mecânico ideal. Essa definição remete à facilidade de controlar, através da sua geometria e da sua cinemática, algumas variáveis de suma importância para a dinâmica veicular, como cambagem, caster, *roll center*, *scrub radius*, entre outras. Além disso, seu arranjo mecânico consegue absorver de forma otimizada as cargas dinâmicas reativas do solo ou de outros efeitos excitadores. O alto nível de desempenho conseguido por esse sistema de suspensão é atribuído à capacidade de sua geometria conseguir maior ganho negativo de cambagem quando a suspensão é comprimida, quando comparada aos demais sistemas (Rezende, 2007).

Para um bom projeto de uma suspensão duplo A, assim como nos outros tipos de suspensão, está condicionado na forma de oferecer uma boa capacidade de isolamento de vibração e uma maximização no tempo de contato pneu-solo, o que garante boa dirigibilidade, estabilidade e segurança ao veículo. Porém, essas características são contraditórias no âmbito da dinâmica veicular, visto que um veículo com bom isolamento de vibração e conforto é aquele que tem uma suspensão mais macia, apropriado para filtrar baixas frequências (na maioria dos veículos, a frequência natural do chassi é relativamente baixa), o que minimiza os deslocamentos relativos do chassi com a estrada. Sendo assim, um veículo com uma suspensão mais rígida apresenta boa aderência pneu-solo (*roadholding*) e adequada manobrabilidade, caracterizado pela minimização da variação de cargas nas rodas. Desse modo, um projeto de suspensão deve possuir bom compromisso entre o conforto, isolamento de vibração e choques com a estabilidade e manutenção do contato pneu-solo. Essa situação é ilustrada nos estudos realizados por Simon (1998), ao analisar a influência do amortecimento da suspensão nessas duas características (manobrabilidade e conforto).

3. DINÂMICA VEICULAR

O trabalho de Spinola (2003) apresenta um diagrama de blocos (Fig. 2), que descreve o comportamento do veículo e de seus subsistemas, o pneu, influências internas e externas, assim como a resposta final do veículo, na trajetória e no conforto dos ocupantes.

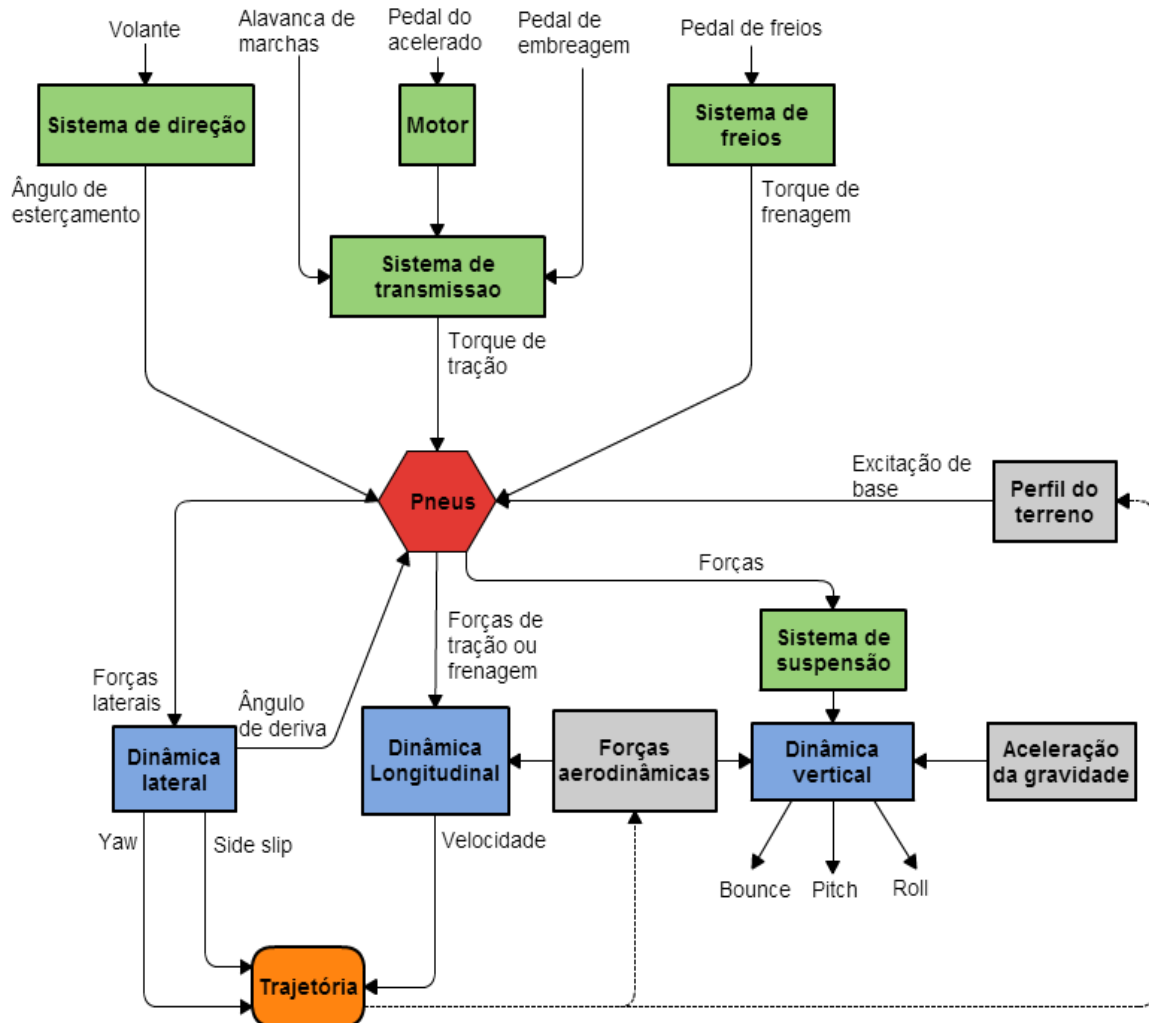


Figura 2. Modelo de dinâmica veicular (Fonte: Adaptado de Spinola (2003)).

Como mostrado na Fig. 2, pode-se afirmar que se costuma dividir a dinâmica veicular em subsistemas, compostos por: sistemas de atuação e de suspensão, dinâmicas principais e influências externas (Spinola, 2003). Os sistemas de atuação são formados pelos sistemas de propulsão, direção e frenagem, sendo cada sistema combinado por várias entradas e componentes, que vão proporcionar influência na dinâmica global do veículo. As saídas desses sistemas operam de forma direta nos pneus, que, por meio da interação com o solo, ocasionam uma geração de forças laterais, longitudinais e verticais. Essas cargas são analisadas nas principais dinâmicas veiculares (dinâmica lateral, dinâmica vertical e dinâmica longitudinal). Os efeitos das respostas das três dinâmicas ditam a trajetória do veículo, que, por sua vez, incluirá influências indiretas das forças aerodinâmicas e da alteração do perfil do terreno. Destacando a dinâmica vertical, percebe-se na figura que esta dinâmica está interligada à influência do sistema de suspensão, forças aerodinâmicas e aceleração da gravidade, no qual, através dos estudos da dinâmica vertical, é possível mensurar os parâmetros de saída, *bounce*, *pitch* e *roll*.

O foco deste trabalho está no estudo da dinâmica vertical do veículo, que como explicitado anteriormente, tem grande influência no desempenho global do veículo. Pode-se definir a dinâmica vertical como a responsável por avaliar o comportamento do veículo e de seus ocupantes quando submetidos às oscilações, proveniente de irregularidades do solo (excitações externas) ou excitações internas geradas por motor, roda, transmissão, etc. Segundo Dixon (1992), define-se o *ride* (dinâmica vertical) do veículo como oscilações vertical, arfagem e rolagem, quando submetido a movimentos forçados devido às imperfeições do piso. Com base nessa definição, na análise da dinâmica vertical, o veículo é avaliado como sendo um sistema dinâmico, tratado desde a fonte de excitação à percepção do ocupante, como ilustrado na figura 3.

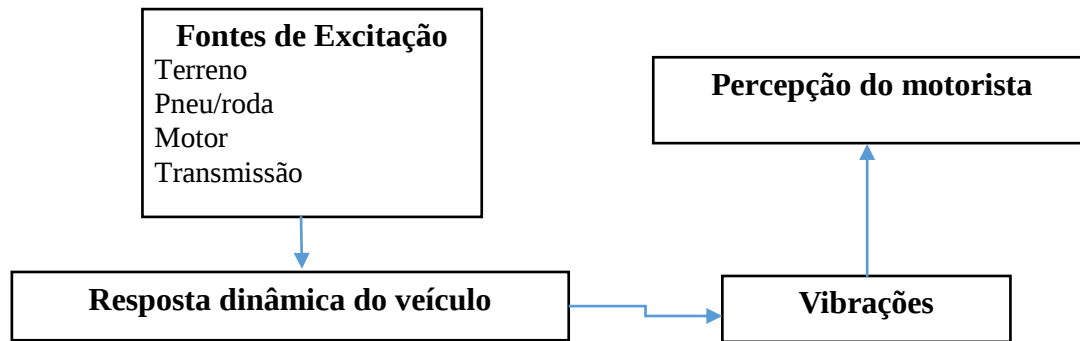


Figura 3. Diagrama da dinâmica vertical (Adaptado de Gillespie (1992)).

Em veículos de competição *off-road*, a otimização desses parâmetros da dinâmica vertical significa um aumento na performance na competição, sendo decisivo em *rally* de longa duração. O trabalho de Iwata (1998) demonstrou a influência desses estudos quando aumentou em 40% a força de amortecimento da suspensão traseira, melhorando o comportamento do movimento de *pitch* do veículo, de modo a permitir um aumento na velocidade de passagem por obstáculos sem causar capotamento para frente.

A resposta dinâmica de um veículo é apresentada como uma forma de caracterização do comportamento dinâmico do veículo quando é submetido a uma ou várias fontes excitadoras. Pode-se expandir essa conceituação e explicitar que a vibração causada pelas excitações é a resposta dinâmica do veículo, podendo aplicar conceitos fundamentais de vibração e suas métricas. Assim, a resposta dinâmica de um veículo pode ser caracterizada pelas relações das entradas e das saídas. A saída de maior interesse geralmente é a vibração na carroceria. A relação entre as amplitudes da saída e da entrada, em função da frequência, é associada ao termo “transmissibilidade” (Freitas, 2006).

4. TEORIA DE SISTEMAS MULTICORPOS

Para predição do comportamento dinâmico de um sistema mecânico com pequena ordem de grandeza de velocidades envolvidas, pode ser descrito pelas leis de movimento de Newton da mecânica clássica. Suas definições e características abrangem as equações de Newton-Euler, equações de Lagrange, Princípio de Jourdain, princípio de D'Alembert, Princípio de Hamilton, etc., conforme ilustrado na Fig. 4, onde é apontado um diagrama de forma simplificada, várias formas de descrever as equações que modelam o comportamento do sistema.

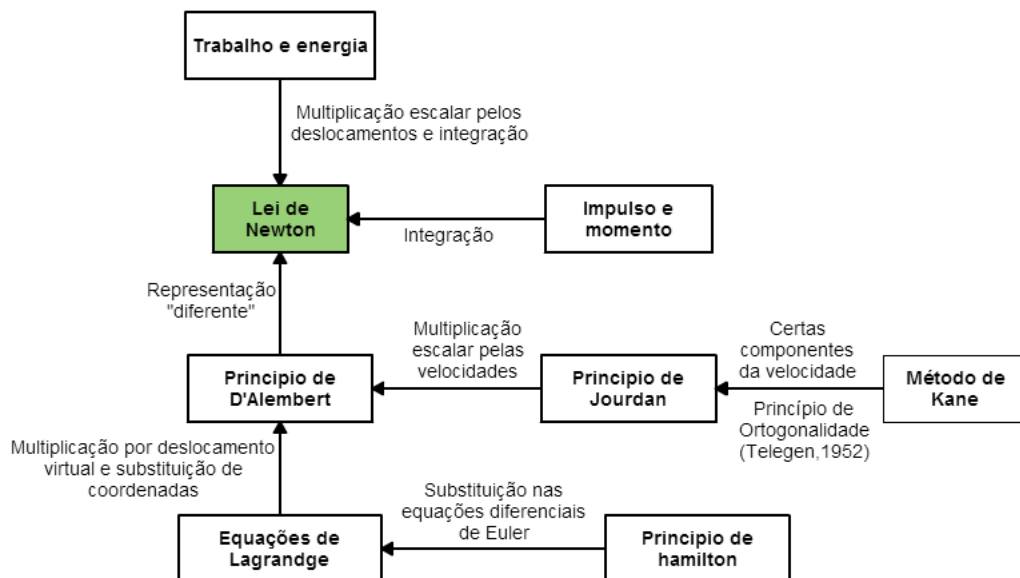


Figura 4. Lei de Newton e seus princípios (Fonte: Adaptado de Barbosa (1999)).

Deste modo, segundo Barbosa (1999), um princípio multicorpos é definido como um sistema mecânico com vários graus de liberdade, cujos movimentos são governados por expressões matemáticas chamadas de equações dinâmicas de movimento. Estas são formadas por equações diferenciais, além de algumas equações algébricas para impor condições de restrições da geometria ou do movimento do sistema.

Cada software de base MBS utiliza a teoria multicorpos por uma determinada forma. Um dos softwares utilizados neste trabalho é o ADAMS, que é baseado no formalismo numérico com o uso do método de Newton-Euler-Lagrange para a formação das equações dos sistemas.

5. METODOLOGIA

Este trabalho foi realizado nos Laboratórios de Vibrações e Instrumentação – LVI e Laboratório de Materiais e Estruturas Ativas – LAMMEA, com o suporte do projeto baja da UFCG (Universidade Federal de Campina Grande) e da Universidade Federal Rural do Semi-árido. Assim, foi utilizado o software comercial MSC ADAMS CAR (sigla de *Automatic Dynamic Analysis of Mechanical Systems*) para a realização de análise comportamental do veículo *off-road* do tipo baja. A partir deste software, foram construídos os subsistemas com base nos principais parâmetros dimensionais do protótipo baja UFCG 2013 (Fig. 5a), podendo ser visto na tabela 1. Em seguida, foi criado um *assembly* (Fig. 5b), que vincula um subsistema ao outro. O modelo completo é composto pelo sistema de direção, suspensão dianteira e traseira duplo A, sistema de freios a discos, pneus, rodas, motor, transmissão e chassi.



Figura 5. (a) Protótipo baja UFCG 2013; (b) modelo completo do protótipo de estudo.

Tabela 1. Parâmetros do veículo com configuração original.

Parâmetros do veículo	Dimensão
Entre eixos	1400 mm
Bitola dianteira	1520 mm
Bitola traseira	1270 mm
Raio do pneu	292.1 mm
Peso do veículo total	260 kg
Peso da massa suspensa	207 Kg
Peso da massa não suspensa de uma das suspensões dianteira.	12,6 kg
Peso da massa não suspensa de uma das suspensões traseira.	13,4 kg
Momento de inércia no eixo transversal ao veículo	15 kg m ²
Altura do CG	450 mm
Distância do CG a eixo traseiro no sentido longitudinal	400 mm
Pressão de enchimento dos pneus dianteiros	6 psi
Pressão de enchimento dos pneus traseiros	6 psi

A simulação utilizada neste trabalho é a denominada de *four post*, que consiste em analisar o modelo do protótipo em um grupo de excitadores, posicionados um excitador em cada roda (Fig. 5b). Assim, a simulação foi realizada no módulo *ride* do ADAMS car, através das análises *four post testing*, onde aplicou-se uma excitação do tipo *swept sine* de amplitude de 20 mm, no intervalo de 30 segundos, 2400 *steps*, uma varredura de frequência de 0 a 20 Hz e com a aplicação da excitação no contato proveniente pneu-solo.

No modelo estudado, foram caracterizados os parâmetros de componentes como rigidezes de molas, amortecedores e buchas por meio de ensaios mecânicos, utilizando máquina de ensaio dinâmica (MTS 321.21), conforme descrito nos trabalhos Diniz & Silva (2014) e Diniz (2014).

Desse modo, foi possível alimentar o modelo completo no ADAMS Car por meio dos dados obtidos na literatura e parâmetros experimentais. O efeito do amortecimento do pneu não foi considerado, já que segundo Freitas (2006), o amortecimento vertical dos pneus pode ser desprezado, pois seu valor é pequeno quando comparado aos valores do amortecedor principal do sistema de suspensão.

6. RESULTADOS

Foi utilizado o módulo de análise *four post* do software MSC ADAMS, incluindo o modelo que caracteriza o veículo, com o intuito de avaliar o comportamento do veículo submetido a oscilações verticais nas rodas na forma de onda senoidal variante no tempo numa faixa de frequência. Assim, foi aplicada uma excitação do tipo *swept sine* (Fig. 6), simulando corrugações do solo, no período de tempo de 30 segundos com 2400 *steps*.

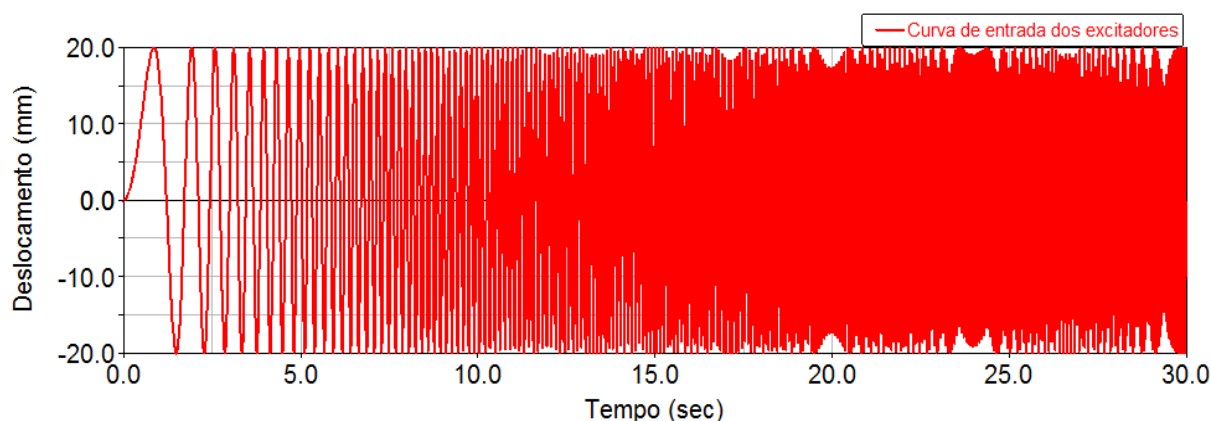


Figura 6. Curva de excitação *swept sine*.

Nessa figura, pode-se observar uma curva senoidal, que possui amplitude de picos máximos de 20 mm e uma variação gradativa na frequência durante o tempo de simulação de 0 a 20 Hz. Esta faixa de frequência foi escolhida devido a ser a região de estudo dinâmica vertical (*ride*), em que consegue excitar as suspensões e a carroceria do veículo. A figura 7 mostra o *Power Spectral Density* (PSD) da Fig. 6, apresentando uma região plana que engloba toda a faixa útil de frequência, confirmando que o sinal de entrada tem potencial de excitação nessas frequências.

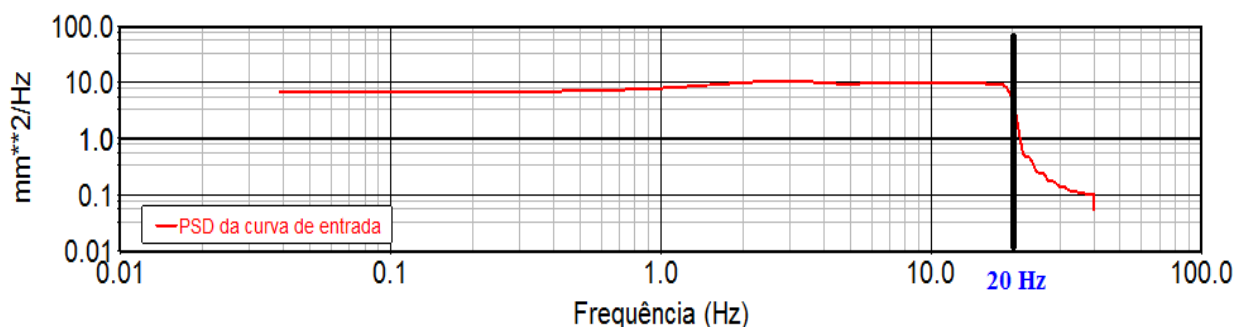


Figura 7. PSD da curva de excitação.

Inicialmente, há uma necessidade em entender e caracterizar os fenômenos ocorridos no veículo nessa faixa de estudo de *ride* para a modelo de referência, que contém as configurações originais apresentada na metodologia. Assim, na figura 8 é visualizada a resposta dinâmica da massa suspensa do modelo estudado, em termos de deslocamento para a entrada de excitação mostrada na figura 6.

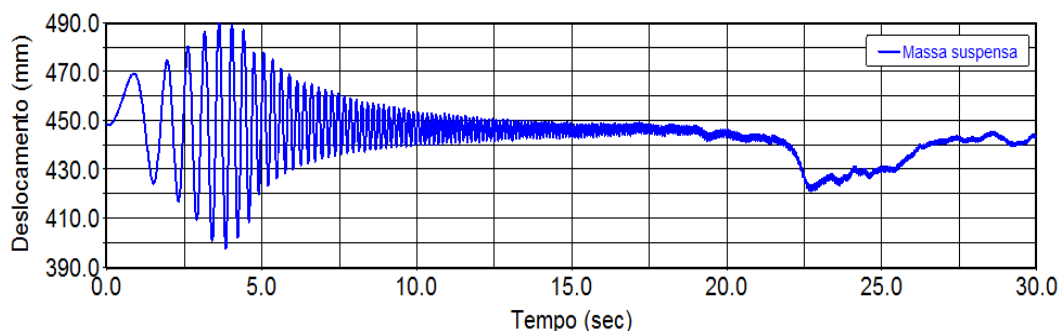


Figura 8. Resposta de deslocamento da massa suspensa do veículo na configuração original.

Na curva da Fig. 8, são observadas duas regiões distintas, sendo que a primeira é caracterizada pela passagem da primeira frequência natural do sistema relativo à massa suspensa, onde verifica-se que em até cinco segundos de simulação, a resposta exibe grandes amplitudes de movimento vertical (quase 0,05m), reduzindo as variações de amplitudes à medida que aumenta tempo de simulação. Nessa região, o maior pico corresponde à frequência natural da massa suspensa, que é próxima a 2,63 Hz. Também, destaca-se na região em torno a 22,5 s, uma perturbação advinda da não simetria do centro de massa ao plano médio longitudinal do carro, o que gera variações do ângulo de *roll* e assim alterando o movimento oscilatório vertical da massa suspensa.

A figura 9 ilustra uma comparação do deslocamento vertical da massa suspensa, aplicando a teoria de *Olley*. Esta teoria consiste em adotar uma diferença de rigidez entre as suspensões dianteira e traseira, com um acréscimo de 30% de rigidez na traseira em relação à suspensão dianteira. Desta forma, foram desenvolvidas outras simulações, onde a curva azul tem uma relação de 1,3 da rigidez da mola dianteira para a mola traseira.

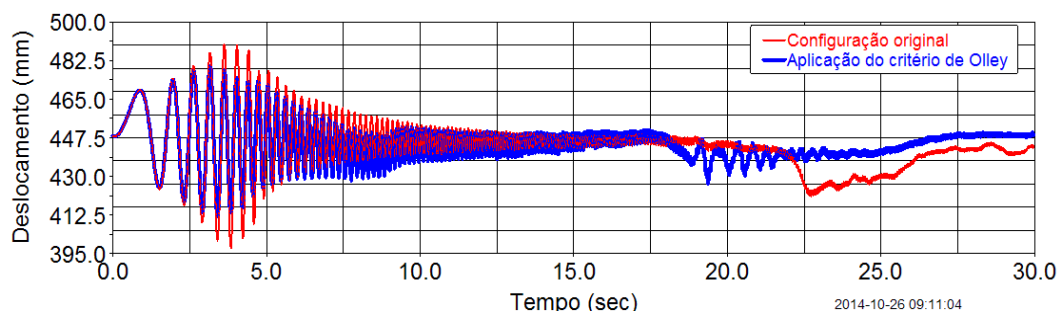


Figura 9. Avaliação da resposta vertical da massa suspensa, aplicando o critério de *Olley*.

Percebe-se uma diminuição geral nas amplitudes dos picos de respostas aplicando a teoria de *Olley*, quando comparadas à simulação com o modelo na configuração original, principalmente na região de frequências naturais da massa suspensa. Usando as métricas de valores de picos obteve-se uma redução de 23,4%, enquanto pelos valores de RMS (*root mean square*), houve uma redução da ordem de 21,89%. A mesma análise se aplica para regiões com tempo superiores a 17,5 s, onde também se percebe a diminuição da variação de deslocamento nessa região.

A figura 10 apresenta três simulações, onde foi considerado o modelo na sua configuração original (6 psi), e alterações nas pressões de enchimento do pneu (12 e 20 psi), alterando suas rigidezes verticais do pneu com os valores encontrados experimentalmente, encontrado no trabalho Diniz (2014).

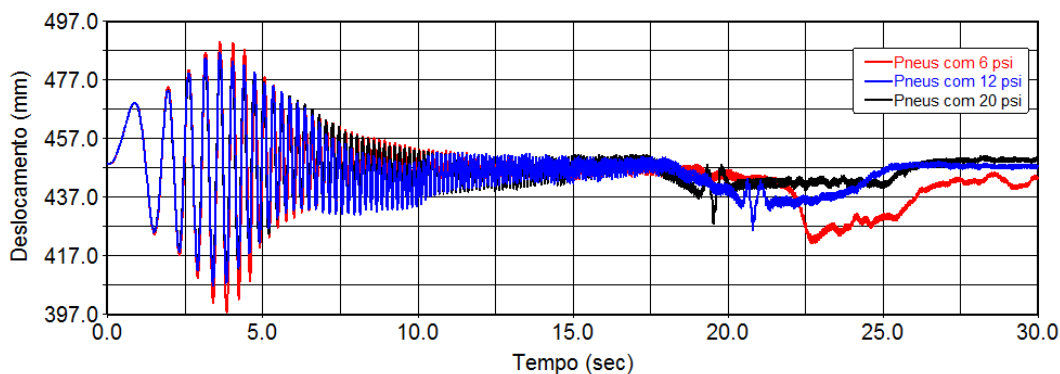


Figura 10. Influência da pressão na resposta vertical da massa suspensa.

Observa-se nos gráficos da Fig. 10, que quando há um aumento da pressão de enchimento dos pneus, ocorre uma diminuição das amplitudes dos picos na região inicial e na região posteriores a 17,5 segundos. Este efeito é encontrado em trabalhos de Diniz (2013) e Perseguim (2005).

7. CONCLUSÕES

Neste trabalho foi dada ênfase ao estudo do comportamento dinâmico vertical de um veículo *off-road* do tipo baja, cujas referências são escassas quanto a caracterização da influência dos parâmetros da suspensão primária com evidência ao direcionamento de suas variações para otimização do desempenho deste tipo de veículo.

As simulações com condição de passagem em *swept sine* foram apresentadas, onde se destaca a importância da verificação do critério de *Olley* para a determinação da rigidez das molas, tendo sido observado reduções significativas nos valores de picos de deslocamento vertical da massa suspensa durante a excitação. Além disso, destaca-se a sensibilidade do modelo multicorpos, sendo possível caracterizar variações de resposta dinâmica da massa suspensa devido à não simetria do centro de massa do protótipo baja.

Conclui-se que o modelo e *solver* empregado mostrou um comportamento aceitável para a avaliação da dinâmica veicular testada, no caso um veículo do tipo *off-road*. Portanto, os resultados obtidos através da aplicação dos modelos propostos, permitiram uma boa estimativa do comportamento dinâmico de um veículo *off-road* real sob as condições estudadas, possibilitando utilizar o modelo gerado para a otimização e estudos de fenômenos nos futuros projetos de veículos *off-roads*.

8. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Campina Grande, Laboratório de Vibração e Instrumentação (LVI) da UAEM/UFCG, Universidade Federal Rural do semi-árido, assim como ao grupo de mobilidade - UFERSA pelo auxílio na construção da escrita do referido trabalho.

9. REFERÊNCIAS

- Bassetto, Edson Luis. Proposta de metodologia para o ensino das fases de projeto informacional e projeto conceitual. 2000. 122f. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000.
- Esmailzadeh, E. (1996). Direction performance and yaw stability of articulated combination trucks. commercial vehicles and highway dynamics. SAE International SP- 1201, p.39-55, 1996.
- Soares, A. L. V., Análise de conforto e elastocinemática das suspensões de duplo estágio de um veículo de competição *off-road* em ambiente multicorpos. 2005. 89f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.
- Heibing, Bernd; Ersoy, Metin. Chassis handbook. s.l.: Vieweg Teubner, 2001. ISBN: 978-3-8348-0994-0.
- Rezende, J. C. C., Projeto e implementação de um modelo de suspensão automotiva em bancada de laboratório. 2007. 157f. Dissertação (Mestrado em Engenharia), Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2007.
- Simon, D. E. Experimental evaluation of semiactive magnetorheological primary suspensions for heavy truck applications. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). 1998. 150f. Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, Virginia, EUA, 1998.
- Spinola, Alexandre de L.. Modelagem e controle não linear da direção de um veículo terrestre. Rio de Janeiro. 2003. 140p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Departamento de Engenharia Elétrica. Pontifícia de Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2003.
- Dixon, John C. The Shock Absorber Handbook, 2nd Ed. SAE R-381, Society of Automotive Engineers, Warrendale, PA, USA and John Wiley & Sons Ltd, The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex, PO19 8SQ, United Kingdom, 2007.
- Gillespie, T. D.. Fundamentals of vehicle dynamics. SAE R – 114, Society of Automotive Engineers, Warrendale, PA, USA, 1992.
- Iwata, H. Development of M.M.C. rally car. SAE paper 983066, 1998.
- Freitas, Luís M., Estudo da dinâmica vertical de uma suspensão veicular do tipo Macpherson. 2006. 131f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.
- Barbosa, R. S. Multibody system dynamics applied to guide vehicles. 1999. 273f. Tese (Doutorado em dinâmica) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.
- Diniz, D. D. S.; Silva, A. A.. Levantamento experimental dos parâmetros associados a dinâmica vertical de um veículo *off-road*. In: VII Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, 2014, Uberlândia.
- Diniz, D. D. S., Estudo da dinâmica vertical em suspensão duplo A de um veículo *off-road* tipo baja. 2014. 135f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica), Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2014.

- Perseguim, O.T. Dinâmica veicular relativa ao ride de veículos e métricas para sua avaliação. 2005. 221f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.
- Diniz, D. D. S.; Silva, A. A.; SILVA, R. S.. Avaliação da influência da pressão interna dos pneus na dinâmica vertical de um veículo *off-road*. In: XXXIV Ibero Latin American Congress on Computational Methods in Engineering - CILAMCE 2013, 2013, Pirenópolis. Anais CILAMCE 2013, v. 1.

10. RESPONSABILIDADE AUTORAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

COMPUTACIONAL SIMULATION OF THE VERTICAL DYNAMIC OF A VEHICLE OFF ROAD USING MULTIBODY MODEL

Diego D. S. Diniz, diego.diniz@ufersa.edu.br¹
Antonio A. Silva, antonio.almeida@ufcg.edu.br¹
Alan Gonçalves Paulo e Silva, alangps1@gmail.com³

¹ Universidade Federal Rural do Semi-Árido – Campus Caraúbas, RN 233, KM 01, Sítio Nova Esperança II, CEP: 59700-000, Caraúbas/RN – Brasil,

² Universidade Federal de Campina Grande, Av. Aprígio Veloso, 882, Bodocongó, CEP 58429-900, Campina Grande/PB – Brasil.

³ Universidade Federal da Paraíba, Cidade Universitária, s/n, Castelo Branco, 58051-900, João Pessoa/PB – Brasil.

Abstract. *Currently, the development of the automotive industry and greater market demand stimulated the intensification of studies on vehicular dynamics, leading manufacturers to centralize their efforts to produce and optimize technologies capable of faster, safer and comfortable vehicles. Through the evolution of computation, it became viable the realization of numerical simulation of complex models of vehicles that would be able to optimize and understand the real dynamic behavior of the vehicle subjected to adverse situations. Within this context, this paper presents a study of computational modeling (multibody models) used for assessment of the vertical dynamic behavior of a vehicle type off-road (Baja) with front and rear suspension Double A. By on real parameters of the object of study, the mathematical model of the complete car in multibody environment was built and simulated in the MSC ADAMS CAR software. The results were evaluated the behavior of the sprung mass to the internal pressure of the tires (6 psi) and the variation of the stiffness of the springs in an excitation type swept sine. In the simulations highlight the variation of the vertical behavior of the vehicle when is applied the Olley criterion on the stiffness of the suspension springs and the sensitivity of the model before the non-symmetry of the position of the vehicle's center of mass. These types of studies become essential to obtain a better understanding of existing phenomena during situations that a vehicle off road are submitted.*

Keywords: *dynamic vertical, off-road vehicle, multibody system.*