



Universidade de Brasília – UnB
Faculdade UnB Gama – FGA
Engenharia Automotiva

Bancada Experimental para 1/4 de Suspensão Automotiva

Autor: Marlos Pereira Alves
Orientador: Dr^o. Henrique Gomes de Moura, UnB/FGA

Brasília, DF
2017



Marlos Pereira Alves

Bancada Experimental para 1/4 de Suspensão Automotiva

Monografia submetida ao curso de graduação em Engenharia Automotiva da Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Automotiva.

Universidade de Brasília – UnB

Faculdade UnB Gama – FGA

Orientador: Dr^o. Henrique Gomes de Moura, UnB/FGA

Coorientador: Dr^o. Alessandro Borges de Sousa Oliveira, UnB/FGA

Brasília, DF

2017

Marlos Pereira Alves

Bancada Experimental para 1/4 de Suspensão Automotiva/ Marlos Pereira
Alves. – Brasília, DF, 2017-
29 p. : il. (algumas color.) ; 30 cm.

Orientador: Dr^o. Henrique Gomes de Moura, UnB/FGA

Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade de Brasília – UnB
Faculdade UnB Gama – FGA , 2017.

1. Palavra-chave01. 2. Palavra-chave02. I. Dr^o. Henrique Gomes de Moura,
UnB/FGA. II. Universidade de Brasília. III. Faculdade UnB Gama. IV. Bancada
Experimental para 1/4 de Suspensão Automotiva

CDU 02:141:005.6

Marlos Pereira Alves

Bancada Experimental para 1/4 de Suspensão Automotiva

Monografia submetida ao curso de graduação em Engenharia Automotiva da Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Automotiva.

Trabalho aprovado. Brasília, DF, 18 de junho de 2017 – Data da aprovação do trabalho:

Drº. Henrique Gomes de Moura,
UnB/FGA
Orientador

Drº. Alessandro Borges de Sousa
Oliveira, UnB/FGA
Convidado 1

Drº. Fábio Cordeiro de Lisboa,
UnB/FGA
Convidado 2

Brasília, DF
2017

Resumo

O presente trabalho propõe o projeto de uma bancada experimento de 1/4 (um quarto) de suspensão automotiva para uso didático. A etapa inicial se deu na modelagem em software Catia V5R19 dos itens que compõe o sistema. Posteriormente, ainda dentro da plataforma desenvolvida pela Dassault Systèmes, foram realizadas análises geométricas, e nos ambientes CAE foram feitas as análises em elementos finitos no âmbito quase-estático e dinâmico.

Palavras-chaves: 1/4 de suspensão. bancada. teste em suspensão automotiva.

Abstract

This is the english The present work proposes the design of an experiment bench of 1/4 (one quarter) of automotive suspension for didactic use. The initial step was in the software modeling Catia V5R19 of the items that make up the system. Later, within the platform developed by Dassault Systèmes, geometric analyzes were carried out, and in the CAE environments, analyzes were performed on finite elements in the quasi-static and dynamic domain.

Key-words: 1/4 suspension. bench. automotive suspension test.

Lista de ilustrações

Figura 1 – Esquema de uso do MEF (SORIANO, 2009).	21
Figura 2 – Sistema com um grau de liberdade e amortecimento viscoso (RAO, 2008).	22
Figura 3 – Comparativo entre tipos de amortecimento (RAO, 2008).	24
Figura 4 – Excitação da base (RAO, 2008).	25
Figura 5 – Pórtico instalado no LabMOV	26

Lista de tabelas

Lista de abreviaturas e siglas

Fig.	Area of the i^{th} component
456	Isto é um número
123	Isto é outro número
MEF	Método dos Elementos Finitos

Lista de símbolos

Γ	Letra grega Gama
Λ	Lambda
ζ	Letra grega minúscula zeta
\in	Pertence

Sumário

1	INTRODUÇÃO	19
1.1	Contextualização	19
1.2	Objetivos	19
1.2.1	Objetivos específicos do TCC1	19
1.2.2	Objetivos específicos do TCC2	20
1.3	Organização do Trabalho	20
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	21
2.1	Método de Elementos Finitos	21
2.2	Análise Dinâmica	22
2.3	Sistema massa-mola com amortecimento viscoso	22
2.3.1	Solução homogênea (x_h)	22
2.3.2	Solução Particular: Força Harmônica (x_p)	23
2.3.3	Transmissibilidade	24
3	CAD	26
4	ANÁLISES	27
4.1	Análises Geométricas	27
4.2	Análises Estáticas	27
4.3	Análises Dinâmicas	27
5	CONCLUSÃO	28
	REFERÊNCIAS	29

1 Introdução

1.1 Contextualização

Graças ao surgimento de ferramentas computacionais de simulação como softwares de CAD (Computer Aided Design) e CAE (Computer Aided Engineering) foi possível diminuir significativamente a quantidade de fundos e tempo de desenvolvimento de projetos na indústria, além de viabilizar a aplicação ágil de alterações durante todo processo.

Há características do sistema real que modelos virtuais não conseguem reproduzir como defeitos de fabricação, imperfeições dos materiais e folgas. Sendo assim, ferramentas CAD e CAE não substituem por completo os testes em protótipos, mas minimiza a quantidade necessária para validação do projeto (REZENDE; BORGES, 2005).

Por ser uma forma de testar novos modelos e técnicas, a bancada experimental, aprimora e otimiza o projeto, diminui o custo de operação e obtém maior qualidade aos equipamentos, além ampliar o conhecimento e a especialidade (ABRANTES; MICHALSKI, 2002).

O uso da bancada experimental por graduandos em engenharia é essencial. Uma vez que o aluno é inserido num ambiente de aplicação prática, onde o processo de aprendizagem é mais ativo, o interesse e a motivação aumentam. Porém, mesmo apresentando maior acessibilidade, as bancadas encontram-se escassas nas unidades de ensino superior (OLIVERA, 2016).

As universidades e empresas de diversos lugares estão tentando adicionar ao currículo de várias matérias o uso das bancadas, para que haja maior interpretação nas análises de sistemas e métodos matemáticos com objetivo de aumentar a eficiência do processo de aprendizagem (OLIVERA, 2016).

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivos específicos do TCC1

- Levantamento de requisitos para construção de uma bancada experimental de 1/4 de suspensão veicular.
- Elaboração do CAD das peças.
- Análises CAD/CAE do sistema.
 - Análise geométrica

- Análise estática
- Análise dinâmica

1.2.2 Objetivos específicos do TCC2

- Documentação do projeto

1.3 Organização do Trabalho

Com o objetivo de propiciar uma leitura mais clara, o presente trabalho foi organizado em capítulos. Essa seção é responsável por elucidar a forma como relatório está disposto. O Capítulo 1 contextualiza o tema e enumera os objetivos do trabalho. No Capítulo 2, [Revisão Bibliográfica](#), é apresentado os fundamentos básicos da dinâmica dos amortecedores veiculares e sistemas de suspensões.

No Capítulo 3 são explanadas algumas decisões de projeto e retratados os modelos CAD criados no *software Catia V5R19*

O Capítulo 4 [Análises](#) foi dividido em três seções para facilitar o entendimento, Seção 4.1 [Análises Geométricas](#), Seção 4.2 [Análises Estáticas](#) e Seção 4.3 [Análises Dinâmicas](#). Nelas são apresentados os resultados de cada tipo de abordagem.

Finalmente, no Capítulo 5, [Conclusão](#), discute-se os dados obtidos a partir das análises demonstradas no capítulo anterior.

2 Revisão Bibliográfica

2.1 Método de Elementos Finitos

Na literatura há vários métodos de simulação numérica que atuam na soluções aproximadas de integrais e equações diferenciais, dentre eles pode-se destacar: método dos elementos de contorno, método das diferenças finitas, método dos volumes finitos e o método dos elementos finitos (SORIANO, 2009).

Devido à simplicidade de generalização, programação e utilização do último método citado, ele foi amplamente difundido em sistemas comerciais como ANSYS, ADAMS, Catia, NAS-TRAN/PATRAN, etc.

Segundo Soriano (2009), o diferencial do Método dos Elementos Finitos (MEF) é que ele não procura por uma função que atenda as condições de contorno de todo o domínio, ele subdivide o modelo matemático contínuo em um conjunto finito de pequenas regiões, chamadas de *elementos finitos*, transformando o domínio de contínuo em discreto, e por final, soma as soluções encontradas separadamente em cada elemento.

O esquema representado na Figura 1 exemplifica o modo de utilização do MEF.

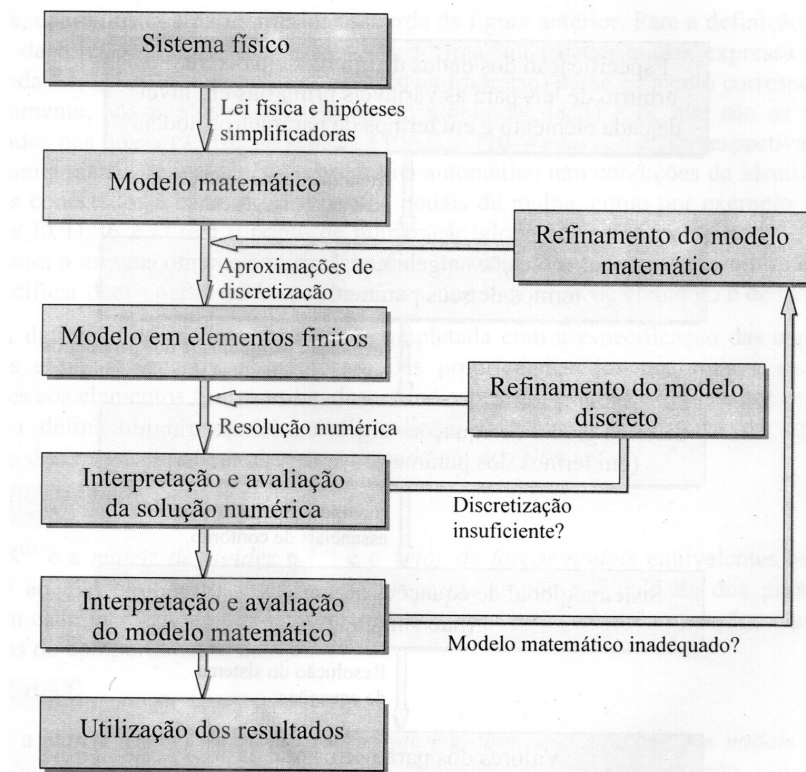


Figura 1 – Esquema de uso do MEF (SORIANO, 2009).

2.2 Análise Dinâmica

Na dinâmica de estruturas, o estudo das forças harmônicas é fundamental, uma vez que é usual idealizar as excitações como tal, além de ser possível decompor ações periódicas arbitrárias em diversas funções harmônicas. No caso de ações não periódicas, a decomposição pode ser feita em uma distribuição contínua de componentes harmônicos (RAO, 2008).

2.3 Sistema massa-mola com amortecimento viscoso

A Figura 2 exemplifica um modelo de sistema massa-mola com um grau de liberdade e amortecimento viscoso.

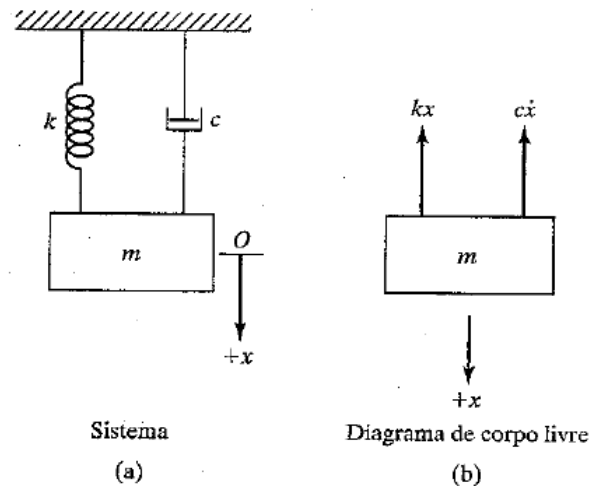


Figura 2 – Sistema com um grau de liberdade e amortecimento viscoso (RAO, 2008).

Esse tipo de modelo pode ser pela Eq.2.1.

$$F(t) = m\ddot{x} + c\dot{x} + kx \quad (2.1)$$

A solução para a Eq.2.1 se dá pela soma das soluções do caso homogêneo ($x_h(t)$) e do caso particular ($x_p(t)$).

$$x(t) = x_h(t) + x_p(t) \quad (2.2)$$

2.3.1 Solução homogênea (x_h)

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = 0 \quad (2.3)$$

Admiti-se a solução na forma

$$x(t) = Ce^{st} \quad (2.4)$$

$$S_{1,2} = -\frac{c}{2m} \pm \sqrt{\left(\frac{c}{2m}\right)^2 - \left(\frac{k}{m}\right)} \quad (2.5)$$

$$x_1(t) = C_1 e^{s_1 t} \quad ; \quad x_2(t) = C_2 e^{s_2 t} \quad (2.6)$$

$$x_h(t) = C_1 e^{s_1 t} + C_2 e^{s_2 t}$$

$$x_h(t) = C_1 e^{\left\{-\frac{c}{2m} + \sqrt{\left(\frac{c}{2m}\right)^2 - \left(\frac{k}{m}\right)}\right\}t} + C_2 e^{\left\{-\frac{c}{2m} - \sqrt{\left(\frac{c}{2m}\right)^2 - \left(\frac{k}{m}\right)}\right\}t} \quad (2.7)$$

$$S_{1,2} = -\frac{c}{2m} \pm \sqrt{\left(\frac{c}{2m}\right)^2 - \left(\frac{k}{m}\right)} \quad (2.8)$$

Uma definição importante para os passos seguinte diz respeito ao amortecimento crítico c_c , logo:

$$c_c = 2m\omega_n \quad (2.9)$$

Lembrando ω_m é a frequência natural e é definida como

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (2.10)$$

$$\zeta = \frac{c}{c_c} \quad (2.11)$$

Frequência de natural amortecida ω_d

$$\omega_d = \omega_n \sqrt{1 - \zeta^2} \quad (2.12)$$

2.3.2 Solução Particular: Força Harmônica (x_p)

$$(t) = F_O \cos \omega t \quad (2.13)$$

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = F_O \cos \omega t \quad (2.14)$$

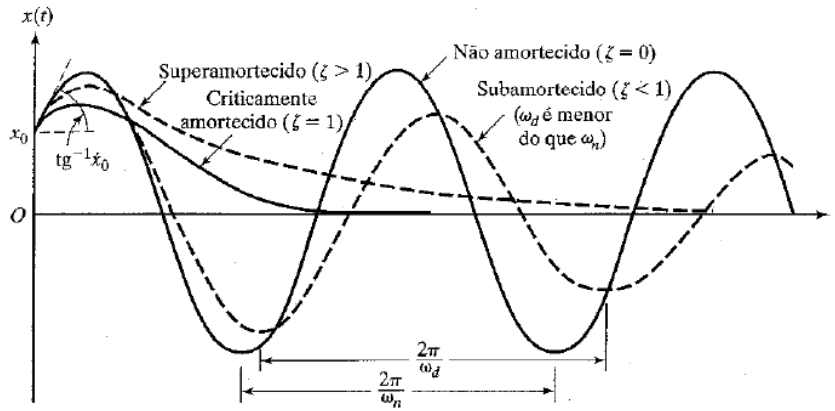


Figura 3 – Comparativo entre tipos de amortecimento (RAO, 2008).

$$x_p(t) = X \cos(\omega t - \phi) \quad (2.15)$$

Onde X e ϕ são constantes e equivalem, respectivamente, à amplitude e ao ângulo de fase.

Utilizando algumas relações trigonométricas e fazendo os devidos ajustes, temos

$$X = \frac{F_0}{[(k - m\omega^2) + c^2\omega^2]^{1/2}} \quad (2.16)$$

$$\phi = \arctan\left(\frac{c\omega}{k - m\omega}\right) \quad (2.17)$$

Substituindo as equações 2.16 e 2.17 na Equação 2.15 obtêm-se a solução particular para o sistema submetido a um carregamento harmônico.

$$x_p(t) = \left\{ \frac{F_0}{[(k - m\omega^2) + c^2\omega^2]^{1/2}} \right\} \cos \left\{ \omega t - \left[\arctan\left(\frac{c\omega}{k - m\omega}\right) \right] \right\} \quad (2.18)$$

2.3.3 Transmissibilidade

Figura 4 mostra uma força sendo transmitida para a base em razão das reações do amortecedor e da mola.

$$\phi = \arctan\left(\frac{c\omega}{k - m\omega}\right) \quad (2.19)$$

A *transmissibilidade de força* (F_T/kY) é dada por

$$\frac{F_T}{kY} = r^2 \left[\frac{1 + (2\zeta r)^2}{(1 - r^2)^2 + (2\zeta r)^2} \right]^{1/2} \quad (2.20)$$

Onde,

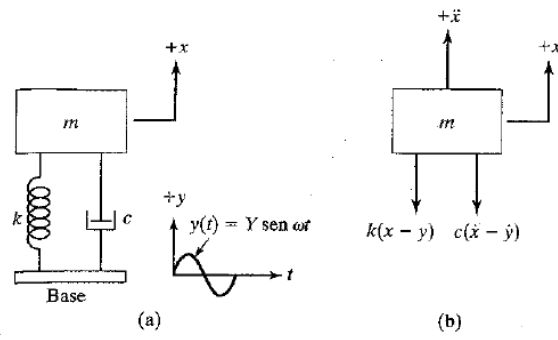


Figura 4 – Excitação da base (RAO, 2008).

F_T = força máxima transmitida à base

Y = Deslocamento máximo da base

$r = \frac{\omega}{\omega_n}$ = razão de frequências

3 CAD

Nesse capítulo são apresentados os modelos CAD feitos dentro dos ambientes do software Catia®V5R19 desenvolvido pela companhia francesa Dassault Systèmes.

Durante a idealização do projeto foi priorizado a flexibilidade do sistema, sempre procurando garantir a variabilidade dos parâmetros geométricos para que fosse possível aplicar uma maior gama de configurações de suspensão à bancada.

Decidiu-se, primeiramente, projetar uma bancada que suportasse uma suspensão do tipo Duplo A (*double wishbone*) utilizada em carros de competição Mini Baja SAE, pois o autor possui uma maior familiaridade com esse tipo de geometria. Em seguida foi realizado o dimensionamento das peças de uma suspensão cedida pela Equipe UnBaja da Universidade de Brasília sediada no campus Gama.



Figura 5 – Pórtico instalado no LabMOV

4 Análises

4.1 Análises Geométricas

4.2 Análises Estáticas

4.3 Análises Dinâmicas

5 Conclusão

Referências

ABRANTES, M.; MICHALSKI, M. Projeto e construção de uma bancada experimental para estudos em dinâmica de rotores horizontais. *II Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, João Pessoa, PB.*, 2002. Citado na página 19.

OLIVERA, Í. C. d. S. Projeto de uma bancada experimental para análise de vibrações veiculares. 2016. Citado na página 19.

RAO, S. *Vibrações Mecânicas. Quarta edição.* [S.l.]: São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2008. Citado 4 vezes nas páginas 9, 22, 24 e 25.

REZENDE, J. C. C.; BORGES, J. A. F. Estudo de uma suspensão automotiva usando a técnica dos multicorpos e sua implementação em bancada de laboratório. *15º POSMEC - Simpósio do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica*, 2005. Disponível em: <<http://www.posgrad.mecanica.ufu.br/posmec/15/pdf/posmec049.pdf>>. Citado na página 19.

SORIANO, H. L. *Elementos finitos: formulação e aplicação na estática e dinâmica das estruturas.* [S.l.]: Ciência Moderna, 2009. Citado 2 vezes nas páginas 9 e 21.