

Medição de Coeficientes de Amortecimento de Amortecedores de Automóveis e Motocicletas

Measurement of Coefficients of Damping of Shock absorbers of Automobiles and Motorcycles

POGORELSKY JUNIOR, JACK SUSLIK

Aluno do curso de Engenharia Mecânica Automotiva da ULBRA ; junior.jack@terra.com.br

LARANJA, RAFAEL ANTÔNIO COMPARSI

Dr. em Engenharia Mecânica; Prof. da ULBRA ; raclaranja-ulbra@yahoo.com.br

RESUMO

Este artigo descreve o desenvolvimento de um equipamento para medição do coeficiente de amortecimento de amortecedores de automóveis e motocicletas. Considerando que o dimensionamento dos componentes deve considerar não apenas o aspecto matemático, mas também a versatilidade que o equipamento deve possuir para permitir o uso de diversos amortecedores de automóveis e motocicletas.

Palavras-chave: *Vibrações, Amortecedores, coeficientes de amortecimento.*

ABSTRACT

This article it describes of the development of an equipment for measurement of the coefficient of damping of shock absorbers of automobiles and motorcycles. Considering that the sizing of the components must consider the mathematical aspect not only, but also the versatility that the equipment must have to allow to the use of different shock absorbers of automobiles and motorcycles.

Keywords: *Vibrations, Shock absorbers, damping coefficients.*

1. INTRODUÇÃO

Como o equipamento deve permitir a obtenção do coeficiente de amortecimento de diversos amortecedores o dimensionamento do equipamento prevê a facilidade de ajuste e troca entre alguns de seus componentes.

O sistema é constituído basicamente por um amortecedor, uma massa e uma mola.

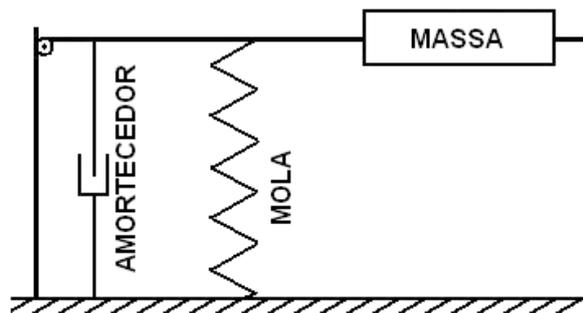


Figura 1. esquema básico do sistema

Devido a dificuldade de obtenção de dados sobre os amortecedores por parte de seus fabricantes para comparações dos resultados o equipamento utiliza dados com incertezas relativamente pequenas, que garantem um resultado confiável para o coeficiente de amortecimento.

2. FORMAS DE DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

Existem diferentes formas de montar o equipamento. A primeira forma é com a mola acoplada ao amortecedor, que apresenta problemas num equipamento que deve trabalhar com diferentes amortecedores, uma vez que seria necessário utilizar uma mola específica para cada amortecedor. O esquema dessa forma de montagem é apresentado na Figura 2.

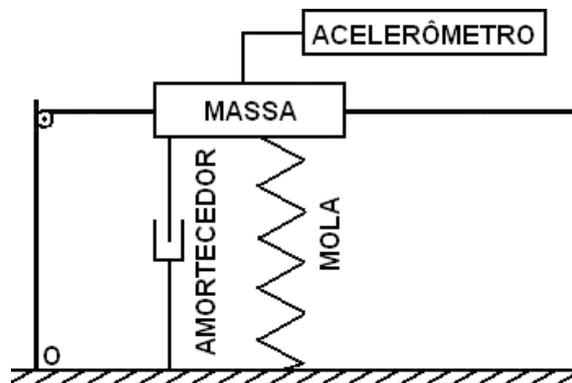


Figura 2. primeira possibilidade de desenvolvimento do equipamento

Uma segunda maneira, apresentada na Figura 3, seria com o amortecedor colocado após a massa e a mola. Essa forma não é satisfatória, pois a velocidade de retorno da haste do amortecedor é insuficiente devido ao coeficiente de amortecimento equivalente na linha de ação da massa ser muito alto, provocando uma frequência natural abaixo do limite de operação do acelerômetro utilizado para medição das amplitudes da oscilação.

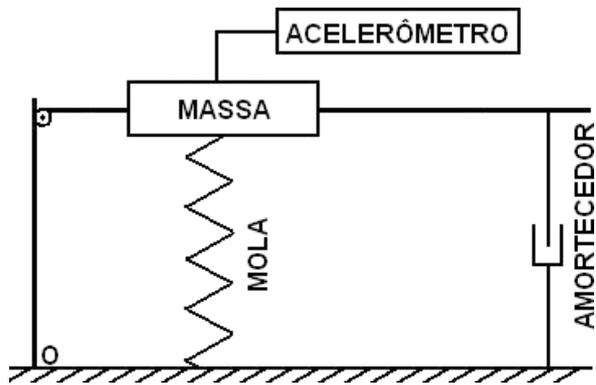


Figura 3. segunda possibilidade de desenvolvimento do equipamento

O modelo utilizado para o equipamento, Figura 4, possui uma massa colocada sobre um braço oscilante colocada após a mola e o amortecedor, que é o método que possibilita a movimentação da haste do cilindro dentro dos limites de operação do acelerômetro.

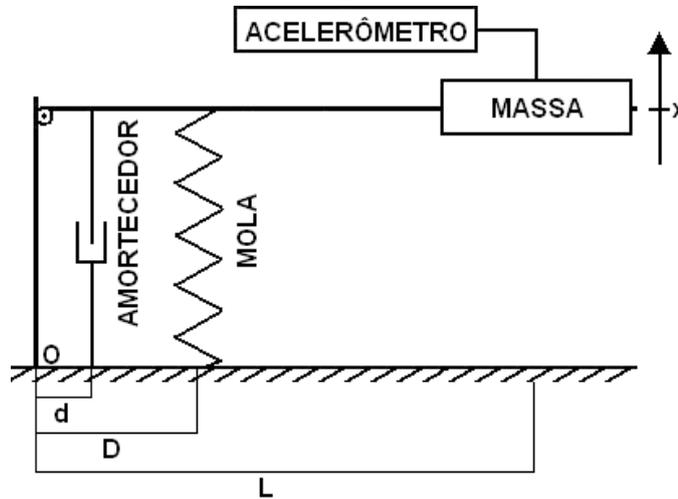


Figura 4. modelo utilizado para o equipamento

3. COMPONENTES DO EQUIPAMENTO

O equipamento que pode ser visto na Figura 5, foi dividido em 5 componentes: 1) Suporte em “L”, que tem a função sustentação e interligação dos componentes do equipamento. 2) Braço Oscilante, que transmite o momento da força aplicada na sua extremidade para a haste do amortecedor. 3) Amortecedor, que é o componente do qual deve ser obtido o coeficiente de amortecimento. 4) Mola, que tem a função de fazer oscilar o braço oscilante, com constante de elasticidade de $5,7 \cdot 10^4 \text{ N/m}$. 5) O acelerômetro utilizado foi o ADXL250 da Analog Devices.

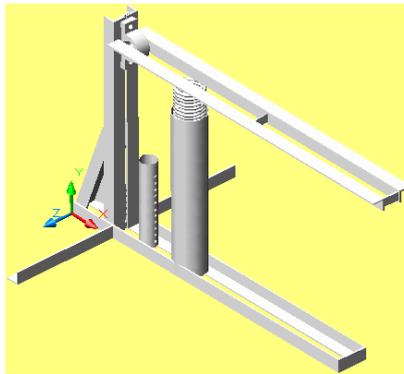


Figura 5. equipamento montado

4. OBTENÇÃO DO COEFICIENTE DE AMORTECIMENTO

Para obtenção dos dados que permitirão o cálculo do coeficiente de amortecimento do amortecedor testado utilizou-se um acelerômetro fixado na extremidade do braço oscilante.

O melhor resultado obtido experimentalmente apresentou uma frequência natural amortecida, “ q ”, de $4,98 \text{ Hz}$ e amplitudes “ X_0 ” e “ X_n ” de $49,6 \text{ mV}$ e $27,2 \text{ mV}$ respectivamente (Figura 6). Esse resultado foi obtido com a mola colocada a $0,205\text{m}$ da origem e com o braço oscilante sem carga, apenas com a massa mínima equivalente na sua extremidade de $1,15 \text{ kg}$.

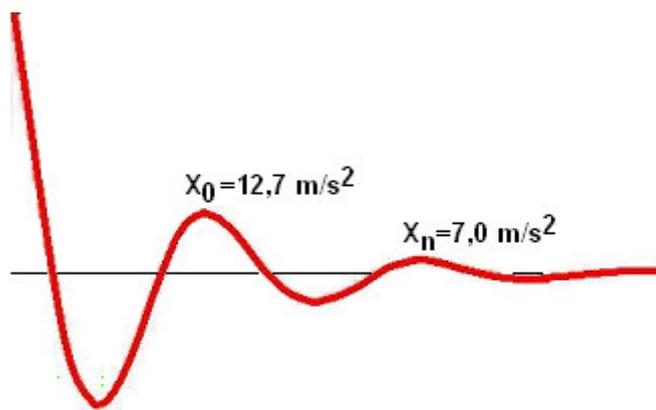


Figura 6. curva senoidal amortecida para o amortecedor testado

Através do gráfico da curva senoidal amortecida obtido através do acelerômetro determinou-se as amplitudes $12,8 \text{ m/s}^2$ e $7,0 \text{ m/s}^2$ para “ X_0 ” e “ X_n ” respectivamente. Com esses dados é possível calcular o decremento logarítmico, “ δ ”:

$$\delta = \frac{1}{n} \cdot \left(\ln \frac{X_0}{X_n} \right) = \frac{1}{2} \cdot \left(\ln \frac{49,6}{27,2} \right) = 0,30$$

A partir do decremento logarítmico, “ δ ”, é possível obter o índice de amortecimento, “ ζ ”:

$$\delta = \frac{2 \cdot \pi \cdot \zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}} \therefore 0,30 = \frac{2 \cdot \pi \cdot \zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}} \therefore \zeta = 0,05$$

Como a frequência natural amortecida obtida experimentalmente, “ q ”, é 4,98 Hz (ou 31,29 rad/s) obtém-se a frequência natural do sistema, “ ω_n ”:

$$\omega_n = \frac{q}{\sqrt{1-\zeta^2}} = \frac{31,29}{\sqrt{1-0,05^2}} = 31,33 \text{ rad/s}$$

Com a frequência natural do sistema, “ ω_n ”, é possível calcular o coeficiente de amortecimento equivalente atuando na massa, “ c_{eq} ”:

$$\omega_n \cdot \zeta = \frac{c_{eq}}{2m} \therefore 31,33 \cdot 0,05 = \frac{C_{eq}}{2 \cdot 1,15} \therefore C_{eq} = 3,46 \frac{N \cdot s}{m}$$

O coeficiente de amortecimento do amortecedor, “ c ”, a partir do posicionamento do amortecedor, da massa adicionada e do coeficiente de amortecimento equivalente atuando na massa, “ c_{eq} ”:

$$c = c_{eq} \cdot \left(\frac{L}{d} \right)^2 = 3,46 \cdot \left(\frac{0,910}{0,082} \right)^2 = 4,3 \cdot 10^2 \frac{N \cdot s}{m}$$

Para cálculos de outros amortecedores foi desenvolvido uma planilha em MS Excel, Figura 7, com o mesmo procedimento de cálculo utilizado para o amortecedor testado.

TABELA PARA CÁLCULO DO COEFICIENTE DE AMORTECIMENTO	
CONDIÇÕES INICIAIS	
m (kg)	1,15 [Entrar com Esse Dado]
k (N/m)	5,76404 [Dado Fixo]
d (m)	0,082 [Dado Fixo]
D (m)	0,205 [Entrar com Esse Dado]
L (m)	0,910 [Entrar com Esse Dado]
DADOS OBTIDOS EXPERIMENTALMENTE	
X ₀ (m·s ⁻¹)	49,6 [X1 (m·s ⁻¹) 12,0] [Outro Esse Dado]
X _n (m·s ⁻¹)	27,2 [X2 (m·s ⁻¹) 7,0] [Outro Esse Dado]
q (rad/s)	31,29 [Outro Esse Dado]
DECREMENTO LOGARÍTMICO	
δ (adimensional)	0,30 [δ = 0,5 · LN(X ₀ /X _n)]
FATOR DE AMORTECIMENTO	
ζ (adimensional)	0,05 [ζ = (2 · π · δ) / q] ²
FREQUÊNCIA NATURAL	
ω _n (rad/s)	31,33 [ω _n = q / √(1-ζ ²)]
k _{equivalente} (N/m)	2,9E+03 [k _{equivalente} = (D/L) ² · k]
COEFICIENTE DE AMORTECIMENTO	
C _{equivalente} (N·s/m)	3,46 [C _{equivalente} = ω _n · 2 · m · ζ]
C (N·s/m)	4,3E+02 [C = C _{equivalente} · (L/d) ²]

CONSTANTES	
π	3,141593
g (m·s ⁻²)	9,807

ACCELEROMETRO	
35 mV	g
	0,2581 m/s ² / mV

Figura 7. Planilha de Cálculo em Excel

5. RESULTADOS E CONCLUSÕES

Para o teste realizado com o amortecedor experimentalmente obteve-se:

- A amplitude, “ X_0 ”, de $12,8 \text{ m/s}^2$
- A amplitude, “ X_n ”, de $7,0 \text{ m/s}^2$
- A frequência natural amortecida, q , de $31,29 \text{ rad/s}$
- A frequência natural, ω_n , de $31,33 \text{ rad/s}$

Através dos cálculos obteve-se:

- O decremento logarítmico, “ δ ”, de 0,30
- O índice de amortecimento, “ ζ ”, de 0,05
- O coeficiente de amortecimento, “ c ”, de $4,3 \cdot 10^2 \text{ N.s/m}$

O dado com maior imprecisão utilizado para dimensionamento do equipamento é a constante de elasticidade da mola, “ k ”, pode ser retirado do cálculo com a obtenção da frequência natural amortecida de forma experimental.

A frequência natural amortecida, “ q ”, as amplitudes “ X_0 ” e “ X_n ”, da massa adicionada ao sistema, “ m ” e das distâncias “ d ”, “ D ” e “ L ” (únicos utilizados para o cálculo do coeficiente de amortecimento) possuem imprecisão pequena para o de resultado esperado.

Para permitir a versatilidade do equipamento e facilidade na troca dos componentes foram tomadas algumas medidas: o posicionamento do suporte do amortecedor e a massa adicionada ao sistema tem locais definidos, enquanto o posicionamento da mola é variável para que possa ser ajustado para diferentes amortecedores, objetivando obter uma frequência natural dentro do limite de operação do acelerômetro.

6. REFERÊNCIAS

ANTUNES, Izildo. *Elementos de Máquina*. São Paulo: Érica, 1998. 296 p.

BEER, Ferdinand P. *Mecânica Vetorial para Engenheiros*. São Paulo: Pearson Education, 1991-1994. 2 v.

DEN HARTOG, P. *Vibrações nos Sistemas Mecânicos*. São Paulo: E. Blücher, [1986]. 186 p.

LARANJA, Rafael A. C., *Mecânica Vibratória*. Canoas: Ulbra. 2004.

PRODONOFF, Victor. *Vibrações Mecânicas: Simulação e Análise*. Rio de Janeiro: Maity Comunicação, 1990. 220 p.

RAO, S. S. *Mechanical Vibration*. New York : Mc Graw-Hill, 1995.

MASUERO, João Ricardo. *Introdução à Mecânica Estrutural: Isostática e Resistência dos Materiais*. Porto Alegre: Ed. da Universidade/UFRGS, 1997. 304 p.

MELCONIAN, Sarkis. *Elementos de Máquinas*. São Paulo: Érica, 2003. 358 p

WOLTER, C., SAMPAIO, R. & CATALDO, E. *Vibrações Mecânicas*. AEB – Agência Espacial Brasileira, 1998.