

## DESENVOLVIMENTO DE UM AMORTECEDOR SEMI-AATIVO PARA VIBRAÇÕES DE CORPO INTEIRO

**Euzébio D. de Souza**

UFMG - euzebiod@ufmg.br

**Maria Lúcia Machado Duarte**

UFMG - mlduarte@dedalus.icc.ufmg.br

**Eduardo José Lima**

UFMG - eduardo@demec.ufmg.br

**Resumo** O estudo das diversas fontes de vibrações de corpo inteiro as quais os trabalhadores estão expostos durante sua jornada de trabalho deve ser efetuado por todas as empresas, objetivando a manutenção da saúde e capacidade de trabalho do indivíduo. A legislação estabelece parâmetros, cabendo aos engenheiros estudar o impacto da intensidade associadas as fontes de vibrações as quais o trabalhador está exposto. Especificamente quanto aos condutores de veículos pesados e coletivos as exposições que se situam próximas ao nível de ação não possuem uma abordagem específica. Desta forma este trabalho propõe o estudo de um amortecedor semi-ativo que ao ser integrado ao assento do trabalhador permitirá o controle dos níveis da VCI.

**Palavras chave:** Vibrações de corpo inteiro, Controle semi-ativo, Ergonomia

### 1. INTRODUÇÃO

A insalubridade por VCI somente é garantida por lei nos casos em que os níveis de vibrações ultrapassam o limite de tolerância (Atlas, 2009). Nos casos em que os níveis associados a fonte não geram o direito ao adicional não são adotadas intervenções de controle. Durante a análise de risco ocupacional em um grupo de trabalhadores cuja função é a condução de carretas, os níveis de vibração se encontravam próximos ao nível de ação, no caso  $0.5 \text{ m/s}^2$  (Cunha e Giampaoli, 2013). As ações tradicionais de manutenção com a substituição dos amortecedores de vibrações junto ao motor e caixa de transmissão, apesar de implementadas não foram efetivas (Sacco, 2003). Este quadro retrata um cenário comum a diversas empresas do segmento de transporte de cargas ou passageiros, sendo este caracterizado por veículos com 10 anos em média de uso e empresas com baixo nível de recursos para investimento. O relato frequente de dores lombares e afastamentos recorrentes são outros elementos que compõem o cenário em foco, caracterizando a necessidade de uma ação de controle na fonte mais efetiva (Queiróga, 1999). O ponto de partida para esta ação é a avaliação ocupacional de riscos, objetivando não apenas a proteção da capacidade laborativa dos condutores, mas também a manutenção da produtividade e redução de reclusões trabalhistas (Macedo e Battistella, 2007).

### 2. AVALIAÇÃO OCUPACIONAL DAS VIBRAÇÕES DE CORPO INTEIRO

A avaliação ambiental consiste em se efetuar medições dos fatores de risco previamente identificados por profissionais da área de segurança do trabalho (Saliba, 2009). Esta observação busca obter uma representação fiel das condições de trabalho as quais o indivíduo está exposto ao longo de sua jornada de trabalho. No estudo das vibrações de corpo inteiro (VCI) o instrumento empregado fornece a magnitude de vibração ponderada nas frequências de 0-1250Hz em conformidade com as normas cabíveis. O acelerômetro foi posicionado no posto de trabalho, especificamente sobre o assento do trabalhador conforme se pode ver na figura 01.



Figura 01 - Posicionamento do acelerômetro no veículo sob estudo - (Cunha e Giampaoli, 2013)

Durante o processo de avaliação se buscou avaliar o nível de aceleração em cada eixo bem como o nível global de vibrações e o seu equivalente para uma jornada de 08 horas. Os resultados são apresentados na tabela 01. O veículo é uma caminhão Volvo modelo WL12360 4X2T EDO fabricado em 1996, sendo seu modelo 1997.

Tabela 01 - Resultados para a avaliação ocupacional de VCI

Eixo	X	Y	Z	Nível Global Corpo Inteiro (av)	Global A(8)	Exposição
Ponderação	Wd	Wd	Wk			
Coefficiente	1.4	1.4	1			
Nível (m/s <sup>2</sup> )	0,32	0,31	0,53			
Corrigido (m/s <sup>2</sup> )	0,45	0,43	0,53	0,81	0,53	8h
Nível de alerta (m/s <sup>2</sup> )					0,50	7h10m36s
Nível limite (m/s <sup>2</sup> )					1,15	37h57m55s
Dose eVDV (m/s 1,75)	8,12	7,88	9,63			8h

A tabela apresenta os níveis de aceleração com destaque para o eixo z, além disto se pode evidenciar que a medição para uma jornada de 8 horas se encontra próxima do nível de ação. Desta forma não cabe o direito ao adicional de insalubridade, contudo nos moldes da NHO 09 a empresa deve buscar adotar medidas de controle para que a exposição não atinja o limite de tolerância. As empresas e portanto os profissionais de engenharia devem avaliar dentre as diversas técnicas de controle a que gere melhor resultado para o caso em estudo.

### 3. TÉCNICAS DE CONTROLE

Uma vez que as abordagens tradicionais, focadas na manutenção do veículo se mostraram ineficazes, o foco das ações de controle deve ser dirigido ao posto de trabalho, especificamente a cadeira do motorista. Uma vez que esta é parte integrante do veículo, ainda assim a ação é caracterizada por controle na fonte. A Figura (2) ilustra as características de uma assento para operação de veículos pesados (Mansfield, 2005).

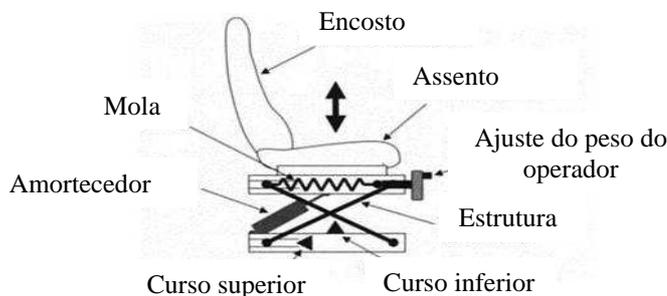


Figura 02 - Descrição dos componentes do assento do operador - (Mansfield, 2005).

Os elementos responsáveis por absorver a energia são a mola e o amortecedor, sendo estes desprovidos de qualquer sistema de controle. Este tipo de posto de trabalho por possuir um sistema de amortecimento reduz o nível de vibrações de corpo inteiro transmitido ao trabalhador, contudo o comportamento dinâmico do veículo em relação as condições da via e do peso da carga não são considerados. De modo a viabilizar as ações de controle cabe o estudo do modelo dinâmico do posto de trabalho, este modelo pode ser visto na figura 03.

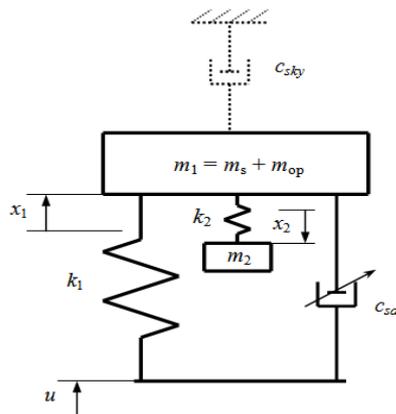


Figura 03 - Modelo dinâmico do assento com o absorvedor dinâmico - (Segla e Trisovic, 2013).

O modelo representado na Figura (3) é composto por uma massa do assento e as massas conectadas ao operador, sendo estas representadas por  $m_s + m_{op}$ , a mola representada por seu coeficiente elasticidade  $k_1$  aliada ao amortecedor semi-ativo com seu coeficiente de amortecimento  $c_{sa}$ . A excitação que o assento recebe é a variável  $u$ , enquanto que a variável  $x_1$  representa a posição da massa tomando como referência a almofada do assento. O coeficiente  $c_{sky}$  é o coeficiente de amortecimento gerado por meio da ação do algoritmo de controle *Skyhook*, cuja estrutura pode ser vista na figura 04. O efeito de amortecimento variável é representado por meio do deslocamento  $x_2$  (Segla e Trisovic, 2013), sendo o amortecedor composto por uma mola com coeficiente de elasticidade  $k_2$  e  $m_2$  que é a massa associada ao amortecedor variável, a constante de amortecimento do sistema considerando a ação de controle é dada por meio da equação 1.

$$c_{sa} = \frac{c_{sky} dx}{(dx - du)} \tag{1}$$

A implementação deste algoritmo de controle será efetuada mediante um circuito microcontrolado, onde o coeficiente de amortecimento variável será obtido por meio de um amortecedor reológico. O diagrama em blocos do circuito eletrônico é apresentado na Fig. (4), onde se pode visualizar o acelerômetro que fornecerá dados em tempo real dos níveis de vibração. Desta forma mediante a atuação do algoritmo *Skyhook*, Sankaranarayanan *et al.*,(1998) a tensão na entrada de controle do amortecedor será modificada, possibilitando a variação do coeficiente de amortecimento  $c_{sky}$ .

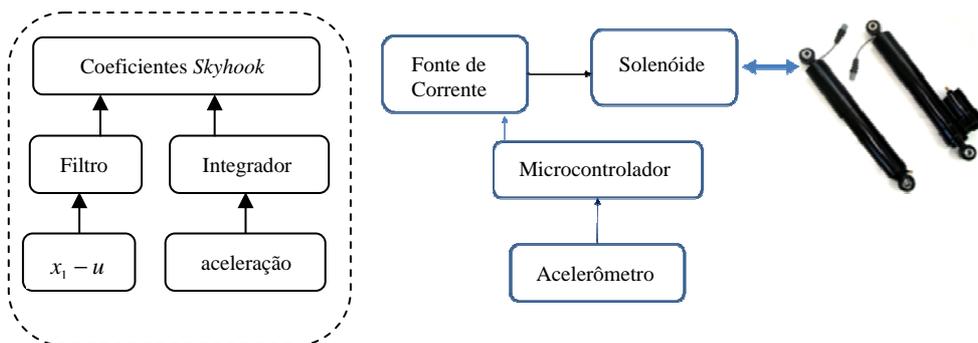


Figura 04 - Diagrama em blocos do amortecedor com controle semi-ativo e estrutura do algoritmo *Skyhook* - Fonte o autor.

#### 4. SIMULAÇÕES

As simulações permitirão entender a variação dos coeficientes de amortecimento, bem como entender as ações de controle a serem implementadas por meio do algoritmo *Skyhook*. O primeiro ponto neste estudo foi avaliar quais parâmetros do amortecedor variam com relação a tensão e se há algum que não sofre influência da tensão. Mediante a pesquisa bibliográfica foi verificado que somente três parâmetros sofrem efetiva influência da tensão, sendo estes os coeficientes de amortecimento viscoso para baixas velocidades, o coeficiente de amortecimento viscoso para altas velocidades e uma variável auxiliar que ajusta a força inicial do amortecedor. Os parâmetros que são imunes a variação da tensão de excitação são listados na Tab. (2), estes elementos são necessários à modelagem dinâmica do amortecedor MR RD 1005-3 (Carneiro, 2009).

Tabela 02 - Parâmetros do amortecedor imunes a variação da tensão

$A (m)$	$B(m)$	$\gamma (m)$	$k_1(x_d - x_0) (N)$	$k_0 (N/m)$	$\eta$
20000	10000	10000	60	2020	2

Os parâmetros que sofrem variação da tensão são representados por meio das equações 2 a 4 respectivamente, sendo estes o coeficiente de amortecimento viscoso para alta velocidade  $c_0$  o coeficiente de amortecimento viscoso para baixa velocidade  $c_1$  e a variável auxiliar  $\alpha$ .

$$c_0 = (-1.25v^2 + 4.15v + 1.62) \times 10^3 \text{ (Ns/m)}, \tag{2}$$

$$c_1 = (11.53v^2 + 37.68v + 11.87) \times 10^3 \text{ (Ns/m)}, \quad (3)$$

$$\alpha = (58v^2 + 112v + 51) \times 10^3 \text{ (Ns/m)}, \quad (4)$$

Nas Figuras (6) até a Figura (8) são apresentados os resultados das simulações para uma tensão de 2 volts, com uma excitação senoidal de 2.5 Hz, caracterizando assim o comportamento do amortecedor quanto aos seus coeficientes de amortecimento. Desta forma será possível obter informações sobre o comportamento destes em relação ao nível de tensão, fornecendo subsídios para o projeto do controlador, especificamente quanto aos níveis de tensão de saída.

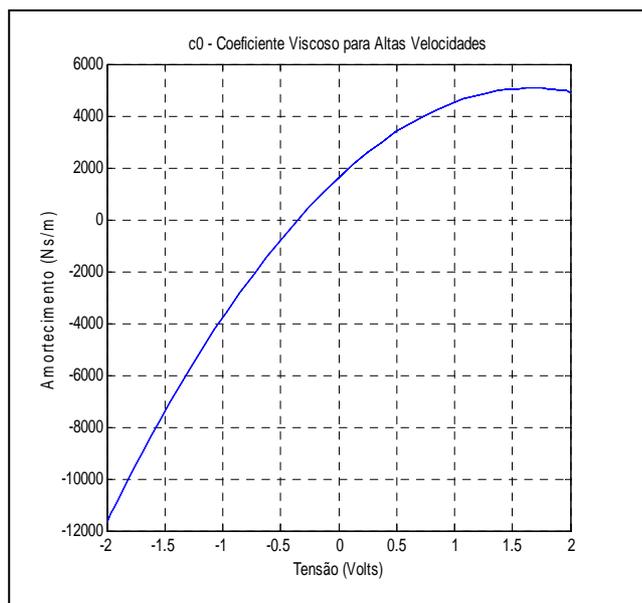


Figura 06 - Variação do coeficiente de amortecimento para altas velocidades.

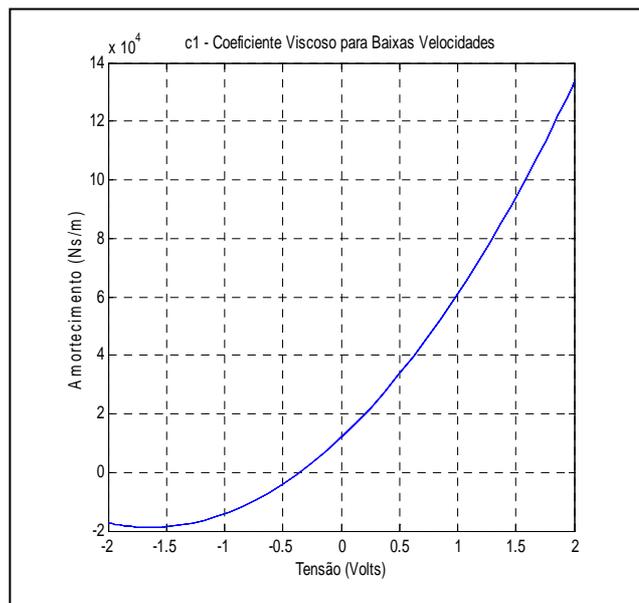


Figura 07 - Variação do coeficiente de amortecimento para baixas velocidades.

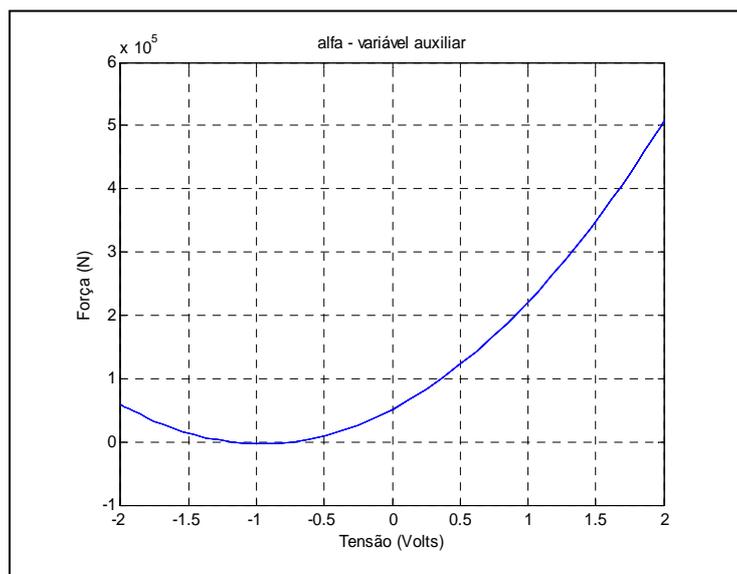


Figura 08 - Variação variável auxiliar em função da tensão.

## 5. CONCLUSÕES

As simulações demonstraram que para conseguir do amortecedor uma resposta dinâmica direcionada a fontes de vibrações com acelerações elevadas, o controlador deve fornecer tensões mais baixas, mantendo o nível de corrente elétrica em até um 1 A. Enquanto que para sistemas com níveis de acelerações mais baixas é necessário obter na saída do controlador níveis de tensões mais elevados. Desta forma a saída do controlador deve fornecer tensões negativas ou positivas de até 2 volts, possibilitando a adequação do amortecedor às características da fonte de vibração. A variável auxiliar  $\alpha$  determina a rigidez inicial associada ao amortecedor, caracterizando o limiar de ação deste. A construção de um protótipo e a realização de testes para validar a ação do algoritmo *Skyhook*, serão efetuadas futuramente. Então será possível aplicar uma ação de controle efetiva para a redução dos níveis de vibração de corpo inteiro, em casos onde atualmente não existem abordagens práticas e de rápida adoção.

## 6. REFERÊNCIAS

- Atlas, Equipe, 2009, "Segurança e Medicina do Trabalho: Lei nº 6.514, de 22 de Dezembro de 1977", 63. ed. Atlas, São Paulo, 804 p.
- Carneiro, R. B., 2009, "Controle Semi-Ativo de Vibrações Estruturais Utilizando Amortecedor Magnetorreológico", Tese (Doutorado), Universidade de Brasília, Brasília, DF, 135p.
- Cunha A. Irlon, Giampaoli Eduardo, 2013, "Norma de Higiene ocupacional: NHO 09: Avaliação Ocupacional das Vibrações de Corpo Inteiro: Procedimento Técnico", Fundacentro, 63 p.
- Macedo, C. S. G. Battistella, L.R., 2007, "Impacto da Lombalgia na Qualidade de Vida de Motoristas de Ônibus Urbano", Arqu. Ciênc. Saúde, Unipar, Umuarama, v 11, n. 3. p.163-167.set./dez.
- Mansfield J. Neil, 2005, "Human Response to Vibration", CRC Press. Boca Raton, Florida, P 244.
- Queiróga, M. R., 1999, "Influencia de fatores individuais na incidência de dor músculo-esquelética em motoristas de ônibus da cidade de Londrina", Rev. Bras. Ativ. Fis. Saúde. v4, n 2, p. 49-61.
- Sacco, I. C. N. et al., 2003, "Avaliação de Posturas Sentadas em Automóvel: Implicações da Antropometria – Estudo de Caso". Revista Fisioterapia e Pesquisa, v.10, n.1, p. 34-42, jan./jun.
- Saliba, T. M., 2009, "Manual Prático de Avaliação e Controle de Vibração", LTR, São Paulo, Brasil, 232 p.
- Segla Stefan, Trisovic N, 2013, "Optimization of Semi-active Seat Suspension", American Journal of Mechanical Engineering, 2013, Vol. 1, No. 7, pp. 221-225.
- Sankaranarayanan et al, 1978, "Vehicle Chassis Control Using Adaptive Semi-Active Suspension", 17th IFAC World Congress (IFAC'08), The International Federation of Automatic Control, Seoul, Korea, July 6-11.

## 7. ABSTRACT

The study of various sources of whole body vibration which workers are exposed during their working hours must be made by all companies, aiming to maintain the health and individual's ability to work. The legislation establishes parameters, leaving engineers to study the impact of intensity associated vibration sources which the worker is exposed. Specifically the drivers of heavy vehicles that are exposed to the levels near to action value. Thus this paper proposes the study of a semi-active damper that to be integrated into the worker's seat will allow control of the Whole body Vibration levels.

## 8. RESPONSABILIDADES PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações contidas neste trabalho