

AVALIAÇÃO COMPARATIVA DO CONFORTO VIBRACIONAL DE UM ASSENTO AUTOMOTIVO DEVIDO À VIBRAÇÃO DE CORPO INTEIRO (VCI)

Beda, L.C.¹ luiz.beda@fiat.com.br

Duarte, M.L.M.² mlduarte@dedalus.lcc.ufmg.br

¹ FIAT Automóveis S.A., Experimentação Chassi – Grupo Handling, Rodovia Fernão Dias, km 429, 32530-000, Betim/MG, luiz.beda@fiat.com.br

² DEMEC/UFMG – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Minas Gerais, GRAVI_{SH/UFMG} – Grupo de Acústica e Vibrações em Seres Humanos da UFMG, Av. Antônio Carlos, 6627 – Campus Universitário, Belo Horizonte/MG, Brasil, 31270-901

Resumo: É muito importante se avaliar a eficiência que um assento automotivo possui no conforto humano quando o veículo está submetido à Vibração de Corpo Inteiro (VCI). Desta forma, o presente trabalho visa apresentar os conceitos e a metodologia empregada em tal avaliação, mostrando um estudo comparativo do desempenho vibracional de um assento veicular convencional e um dotado de um sistema suplementar de amortecimento. Pode ser verificado que a utilização de assento com sistema suplementar de amortecimento reduz sensivelmente a amplitude de vibração. Entretanto, um efeito indesejado é o aumento da amplitude em baixa frequência, o que deve ser abordado com extremo critério, pois impacta na dirigibilidade e na segurança durante a condução do veículo.

Palavras-chave: Vibração de Corpo Inteiro (VCI), SEAT, Assento Automotivo

1. INTRODUÇÃO

Ao longo dos anos a engenharia de desenvolvimento de assentos automotivos vem trabalhando para atender requisitos relativos à segurança e posicionamento dos ocupantes no veículo, estabelecidos por meio de dispositivos legais e normas técnicas.

Contudo, mais recentemente, diante de novas condições de mercado, com consumidores cada vez mais exigentes, e a crescente competitividade entre as empresas do setor automotivo brasileiro, outras características passaram a ser avaliadas e destacadas.

Neste enfoque, o conforto vibracional passa a ser um item chave no desenvolvimento do veículo e o assento passa a receber atenção especial.

O conforto dos veículos depende de uma combinação complexa de variáveis, incluindo a vibração. A otimização do conforto requer uma compreensão da resposta humana a vibração. A exposição do corpo humano à vibração pode resultar em desconforto, interferência com a atividade, doença ou lesão e mal de movimento (Griffin, 1996). Quaisquer desses efeitos podem reduzir a qualidade de dirigibilidade de um veículo. Existem muitas variáveis que se combinam e influenciam a avaliação objetiva do conforto e outras que influenciam a opinião pessoal e não podem ser facilmente incorporadas dentro de uma medida física (ver Figura 1).

A percepção de conforto no veículo é dependente do comportamento do assento, uma vez que é a principal interface entre a máquina e o homem. Atualmente um dos objetivos do assento veicular tem sido a redução do nível de vibração proveniente das mais diversas origens (estrada, motor e componentes em geral do veículo) de modo a propiciar conforto aos seus ocupantes. Uma das maiores dificuldades neste tipo de análise é a subjetividade da percepção de conforto. Entretanto, maior atenção é dada para este aspecto, visando encontrar correlação entre percepção de conforto e medições objetivas. Por isto, vários parâmetros precisam ser avaliados como será visto a seguir.

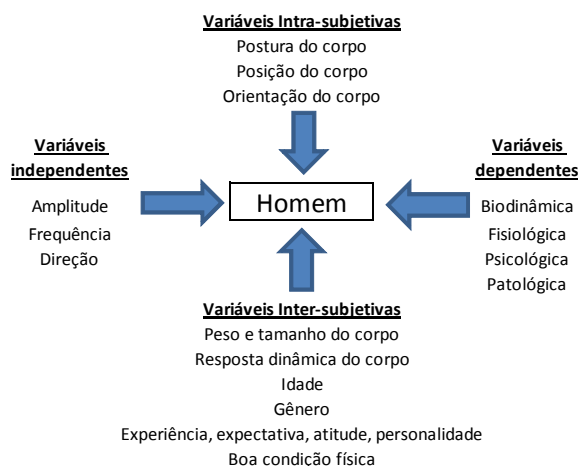


Figura 1. Variáveis que influenciam a avaliação objetiva e subjetiva do conforto (BS 6841, 1987).

2. EFEITOS DA VIBRAÇÃO NO DESCONFORTO

2.1. Efeito da amplitude da vibração

Não há limites universais para desconforto de vibração. Por exemplo, o limite físico para o desconforto varia entre diferentes tipos de veículos (automóveis, motos e caminhões), e varia no tipo de veículo (esportivo e limusine). Os requisitos de concepção dependem de fatores externos (custos e velocidade) e o conforto dos veículos concorrentes. Podemos dizer que, de forma aproximada, a duplicação da amplitude de vibração corresponde a uma duplicação do desconforto (Griffin, 2007).

As medições de vibração são relatadas em termos de aceleração (m/s^2 para vibração translacional e rad/s^2 para vibração rotacional). Para alguns tipos de exposição a vibrações é conveniente expressá-la em termos do seu valor RMS (root mean square), definido como (ISO2631-1, 1997):

$$a_w = \left(\frac{1}{T} \int a_w^2(t) dt \right)^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

RMS, contudo, é um método que não considera a presença de choque no sinal de vibração. Na presença destes eventos temos o aumento do fator de crista do sinal (FC), definido como (Griffin, 1996):

$$FC = \frac{\text{Valor}_{\text{pico}}}{\text{Valor}_{\text{RMS}}} \quad (2)$$

Para sinais com fator de crista maior que 6 uma melhor estima do conforto é através do valor de VDV:

$$VDV = \left\{ \int a_w^4(t) dt \right\}^{\frac{1}{4}} \quad (3)$$

Algumas indicações do grau de desconforto associados com um valor global são apresentadas na figura 2. Entretanto, estudos mostram que não necessariamente o grau subjetivo do desconforto enquadra-se dentro dos valores apresentados (Oliveira, 2006).

Aceleração Ponderada rms (m/s^2)



Figura 2. Indicação aproximada das reações para várias amplitudes de vibração (ISO2631-1, 1997).

2.2. Efeito da direção da vibração

O corpo humano pode estar exposto à vibração em uma combinação de seis eixos (três de translação e três de rotação). A sensibilidade do corpo à vibração e a dependência a essa sensibilidade, varia de acordo com a direção da vibração e do ponto de contato com a vibração (ISO2631-1, 1996; Griffin, 1996). Para a vibração nos eixos mostrados na Figura 3, doze ponderações podem ser necessárias. Atualmente, a origem dos eixos de medição é baricêntrico, tendo origem sob a tuberosidade isquiática, entre as costas e o encosto e abaixo dos pés (ISO2631-1, 2010).

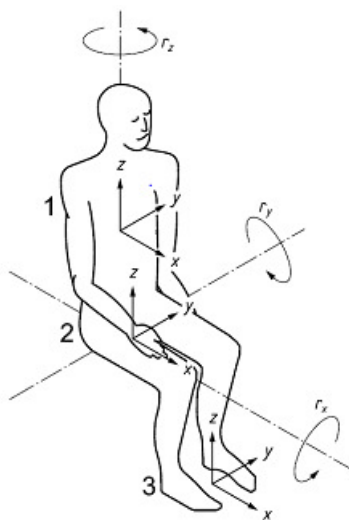


Figura 3. Os 12 eixos de análise para o corpo humano sentado (ISO2631-1, 2010).

2.3. Efeito da frequência da vibração

É ingênuo supor que a resposta humana à vibração pode ser prevista sem levar em conta a frequência de vibração: todas as medições físicas de vibração são limitadas a um intervalo finito de frequência e todos os sistemas mecânicos têm uma resposta física que é dependente da frequência. A figura 4 mostra diversas curvas de ponderação para um intervalo até 100 Hz (BS6841, 1987) que são utilizadas em função da direção da vibração e a posição do corpo.

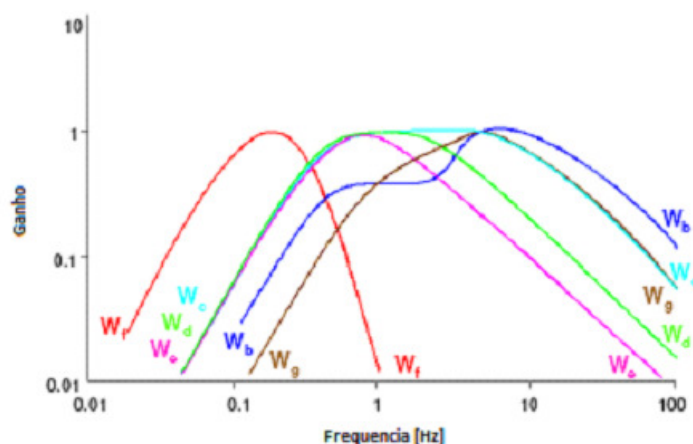


Figura 4. Curvas de ponderação definidas pela BS 6841.

A fim de minimizar o número de curvas de ponderações, algumas são usadas para mais de um eixo. De modo a dar importância diferenciada a cada eixo, são utilizados fatores de multiplicação. Figura 5 mostra um procedimento geral para calcular um valor global do conforto, onde RSS é root-sum-of-squares, ou seja, a raiz quadrada da soma dos quadrados de cada eixo de vibração.

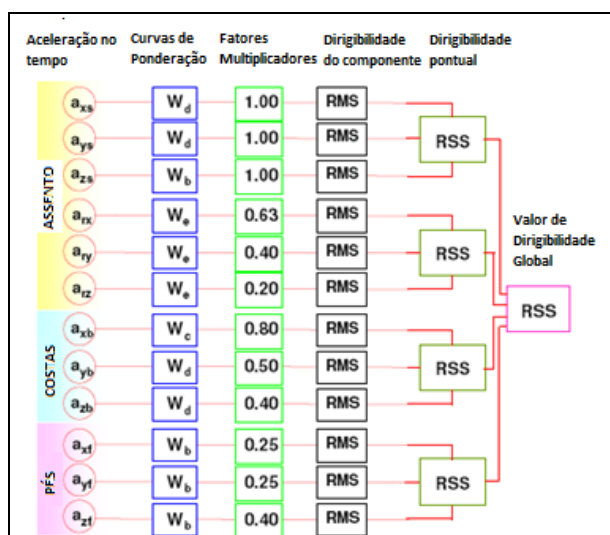


Figura 5. Procedimento para calcular o valor global de conforto (FIAT, 2006).

2.4. Efeito da duração da vibração

É definida pela BS 6841 e ISO2631-1 (1997) uma relação entre a aceleração e a duração da exposição baseada em uma potência de 4 (aceleração⁴ x duração = constante). Esta relação também pode ser usada para calcular o “valor dose de vibração”, ou VDV, acumulada durante períodos de exposição. Tal efeito de duração é utilizado normalmente para avaliações da vibração na saúde. Porém, tal valor não é universal. A figura 6 mostra os valores dos limites de ação e de exposição equivalentes a 8h de trabalho em função do tempo de exposição, calculados conforme fórmula abaixo. Entretanto, esta mesma norma estabelece uma relação constante para a_w quando o tempo de exposição é inferior a 10 minutos.

$$T_1 = \left(\frac{a_{w2}}{a_{w1}} \right)^e T_2 \quad (4)$$

Onde: $e = 2$ quando se usa a_w e $e = 4$ quando se usa valores em VDV. Pode-se observar que faixa de tempo ocupacional (de 4 a 8h), as duas equações convergem os valores. Entretanto, fora deste intervalo a divergência é maior e cuidado deve ser tomado na interpretação dos resultados (ISO2631-1, 2010).

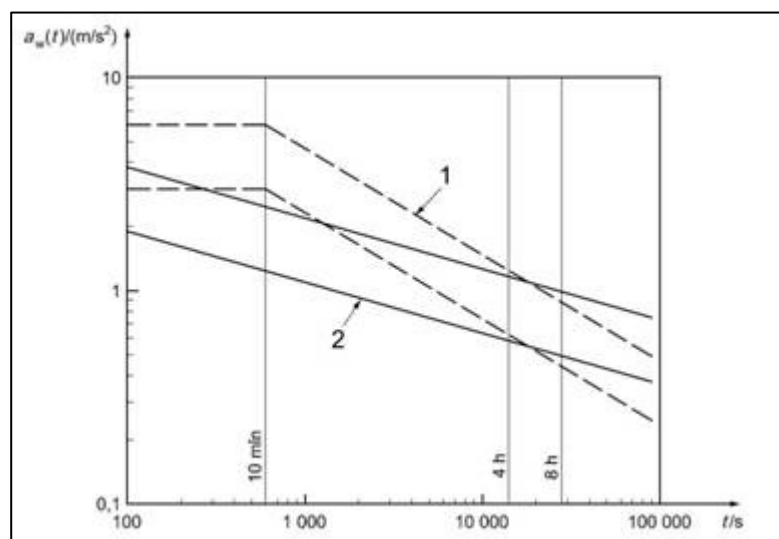


Figura 6. Valores do limite de exposição e limite de ação em função do tempo (ISO2631-1:1997/Amd 1:2010, 2010).

2.5. Efeito da vibração nas atividades

A realização de atividades envolve um grande número de complexos processos de transferência de informação: o sistema de sensores do corpo recebe informação que é processada, de forma periférica ou centralizada, e produz uma reação, conforme esquematizado na Figura 7. A vibração pode interferir com a aquisição da informação (por exemplo, pelos olhos), e na saída da informação (por exemplo, pela movimentação das mãos) ou o processo central que relaciona a entrada e saída.

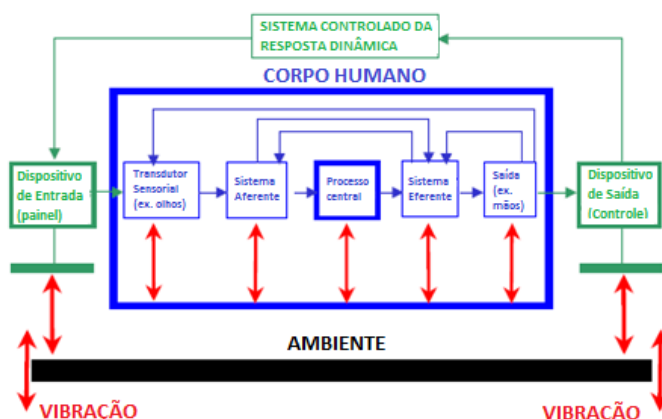


Figura 7. Fluxograma de informação em um sistema simples e as áreas onde a vibração pode afetar a realização de atividades (FIAT, 2006).

2.6. Efeito da vibração na saúde

Danos no corpo podem ser causados por uma curta exposição de altas amplitudes de vibração ou choque, e ou; dores crônicas podem aparecer provenientes de tempo de exposição de vibração prolongado. A norma ISO 2631-1 (1997) diz que a energia vibratória equivalente a um dia inteiro de trabalho pode ser estimada em função de um espaço menor de tempo, conforme mostrado na eq. (4).

A Tabela 1 define dois limites *Action level* (necessária proteção) e *Exposure level* (proibição de exposição) em função do tempo de exposição em horas de acordo com a norma ISO2631-1 (1997). Porém, o adendo de 2010 (ISO2631-1, 2010) faz referência a tais níveis baseados na Diretiva Européia (2002). Lá, os limites para nível de ação (EAV) e nível de exposição (ELV) são estabelecidos como $0,5 \text{ m/s}^2$ e $1,15 \text{ m/s}^2$, respectivamente.

Tabela 1. Action level e Exposure level ISO 2631-1 (1997).

Duração da Exposição (h)	Nível de Ação (m/s ²)	Nível de Exposição (m/s ²)
0,5	0,9	1,9
1	0,8	1,6
2	0,7	1,3
3	0,6	1,2
4	0,6	1,1
5	0,5	1
6	0,5	1
7	0,5	1
8	0,5	0,9
9	0,5	0,9
10	0,4	0,9
11	0,4	0,9
12	0,4	0,8
13	0,4	0,8
14	0,4	0,8
15	0,4	0,8
16	0,4	0,8

Fai (2007) tabelou as causas do desconforto de assentos, conforme mostrado na Tabela 2, mostrando qual é o modo de sensação humano, assim como suas causas fisiológicas e de engenharia, seguidos pela fonte de tal sensação.

Tabela 2. Adaptado de Fai (2007).

Sensação Humana	Biomecânica		Assento/ambiente
<i>Modo</i>	<i>Causas Fisiológicas</i>	<i>Causas de Engenharia</i>	<i>Fonte</i>
Dor	Oclusão de Circulação	Pressão	Rigidez do assento
Dor	Isquemia	Pressão	Rigidez do assento
Dor	Oclusão nervosa	Pressão	Contorno do assento
Desconforto	-	Vibração	Dirigibilidade veicular
Transpiração	Calor	Respirabilidade do material	Estofamento em vinil
Percepção	Visual/auditiva/tátil	Projeto/vibração	Custo do veículo

2.7. Mal do movimento

Movimento oscilatório de frequência inferior a aproximadamente 0,5 Hz é uma das causas do mal do movimento que ocasiona náuseas. Tal fenômeno deve ser observado, pois impacta diretamente o conforto do ocupante do veículo.

2.8. Considerações

Quando se aborda o conforto de um assento, todos os pontos citados acima devem ser observados de modo a fornecer um projeto ótimo para o assento.

3. METODOLOGIA EXPERIMENTAL

3.1. Avaliação do comportamento dinâmico

As propriedades dinâmicas do assento são definidas para diminuir acelerações indesejáveis nos ocupantes. Três fatores são combinados para determinar a eficiência do assento: vibração do meio, resposta dinâmica do assento e resposta do corpo humano (Griffin, 2007).

A definição do assento para um ambiente consiste em ajustar a resposta dinâmica do mesmo visando minimizar o efeito adverso da vibração.

As análises das FRF permitem avaliar a resposta do assento em condições de ressonância (amplitude, largura e pico de frequência), e no intervalo da percepção humana.

Desde que a percepção humana da vibração depende do intervalo de frequência (ressalta-se frequência e amplitude), para avaliar o efetivo desconforto é necessário filtrar o espectro no domínio da frequência com peso prescrito na norma BS 6841, conforme mostrado na figura 4.

Na mesma norma está também definido a fórmula para se calcular o índice S.E.A.T. (Seat Effective Amplitude Transmissibility), que quantifica a qualidade do assento e pode ser calculado como (BS6841, 1987):

$$SEAT(\%) = \left[\frac{\int S_{yy}(f) W_i^2(f) df}{\int S_{xx}(f) W_i^2(f) df} \right]^{\frac{1}{2}} \cdot 100 \quad (5)$$

O comportamento dinâmico dos assentos fruto deste estudo é realizado em testes na estrada. A Figura 8 apresenta o aparato da instrumentação utilizada, enquanto a Figura 9 apresenta um dos percursos utilizados. O trajeto foi escolhido de forma a representar o uso normal do veículo em via pública acidentada. Teste similar pode ser feito utilizando-se uma bancada específica que reproduz o sinal de estrada. Pode-se ver que foram coletados dados tanto da vibração no trilho do assento, como também na almofada do assento e do encosto e no piso sob o pé do motorista, além da vibração no volante.



Figura 8. Veículo instrumentado para avaliação conforto em estrada.

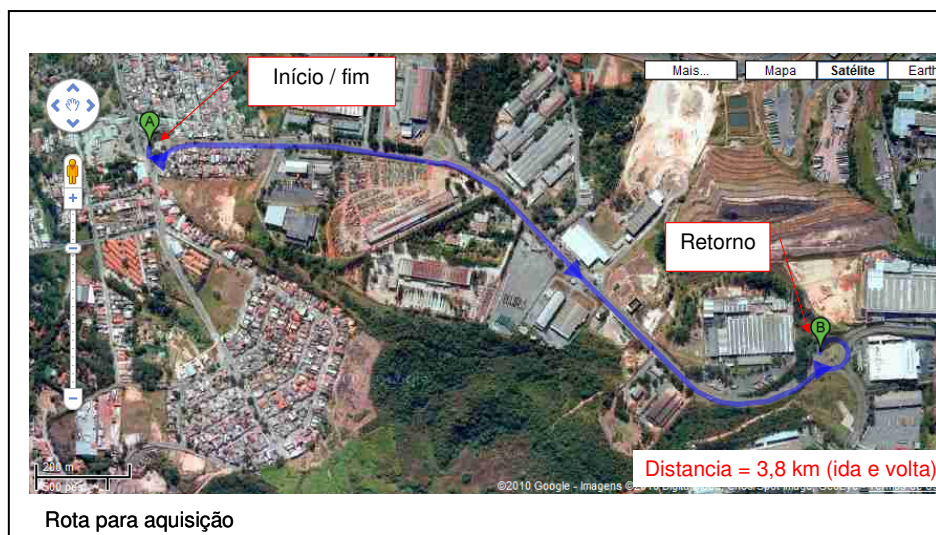


Figura 9. Percurso para aquisição de sinal.

4. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Segue abaixo os resultados do comparativo realizado sob dois veículos, denominados A e B. O veículo A possui assento dotado de sistema suplementar de amortecimento e o veículo B possui assento convencional. Na figura 10 temos um comparativo da amplitude de aceleração onde é nítida a diferença do nível de filtragem entre os dois assentos.

Enquanto o veículo A obteve um índice SEAT = 59%, o veículo B obteve um SEAT = 78%. Conforme Griffin (2007) são usuais valores de SEAT para veículos de passeio entre 60 e 80%. Vale lembrar que < 100% temos diminuição do nível de aceleração e, > 100% temos amplificação. As regiões sombreadas indicam a faixa de frequência de movimentação do veículo (~2 Hz) e a frequência própria da suspensão (~15 Hz). Estas são as principais faixas de interesse desta análise.

Da figura 11 a figura 14 temos o comparativo da transmissibilidade entre o veículo A e B, onde observa-se a maior eficiência de filtragem do veículo A. Em contraponto, há um aumento do módulo em baixa frequência (~2 Hz) o que indica maior movimentação do condutor, o que pode impactar na dirigibilidade do veículo.

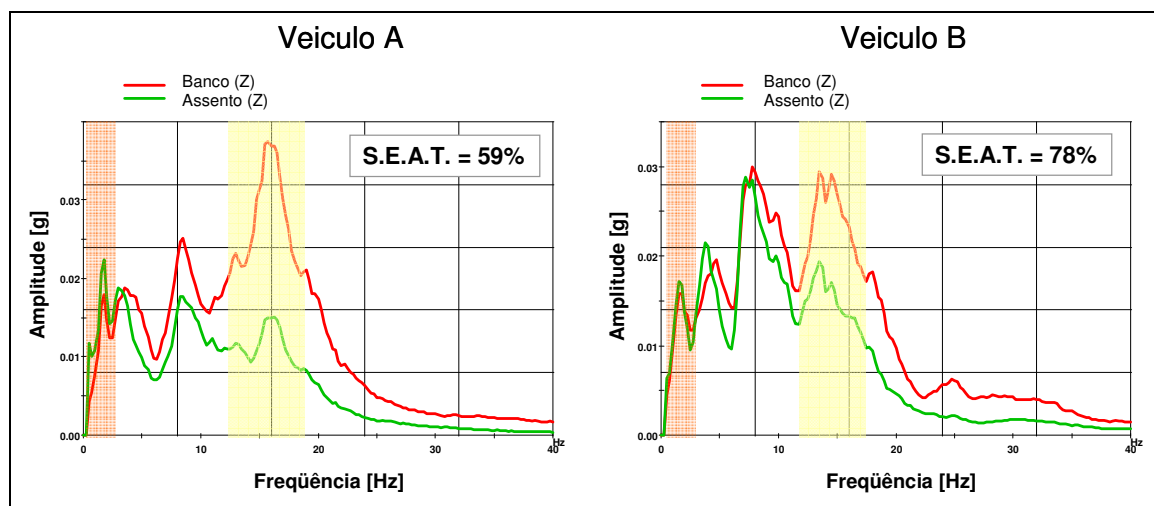


Figura 10. Comparativo de amplitude de aceleração entre os veículos A e B.

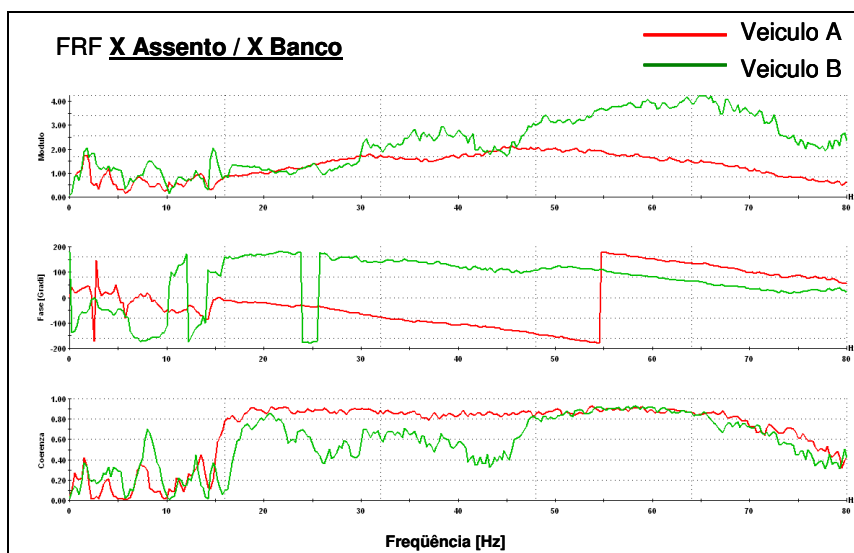


Figura 11. Comparativo da transmissibilidade (módulo, fase e coerência) do eixo X do assento e X do banco entre os veículos A e B.

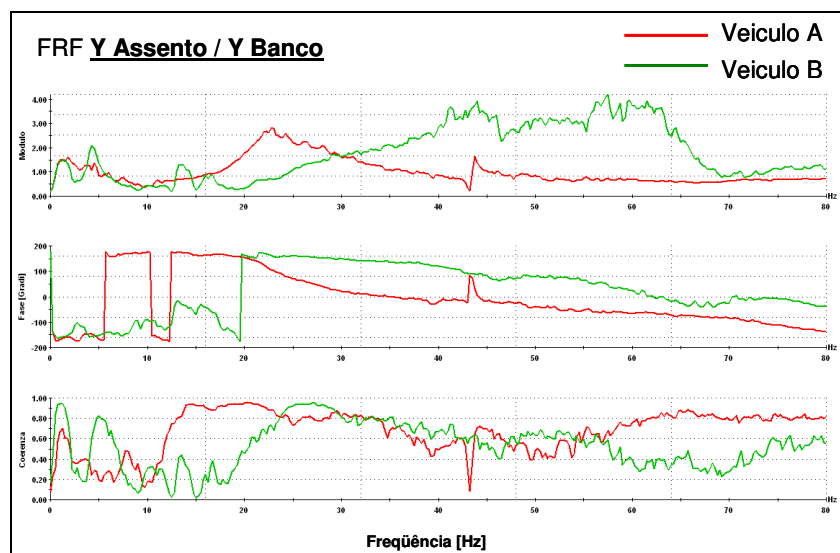


Figura 12. Comparativo da transmissibilidade (modulo, fase e coerência) do eixo Y do assento e Y do banco entre os veículos A e B.

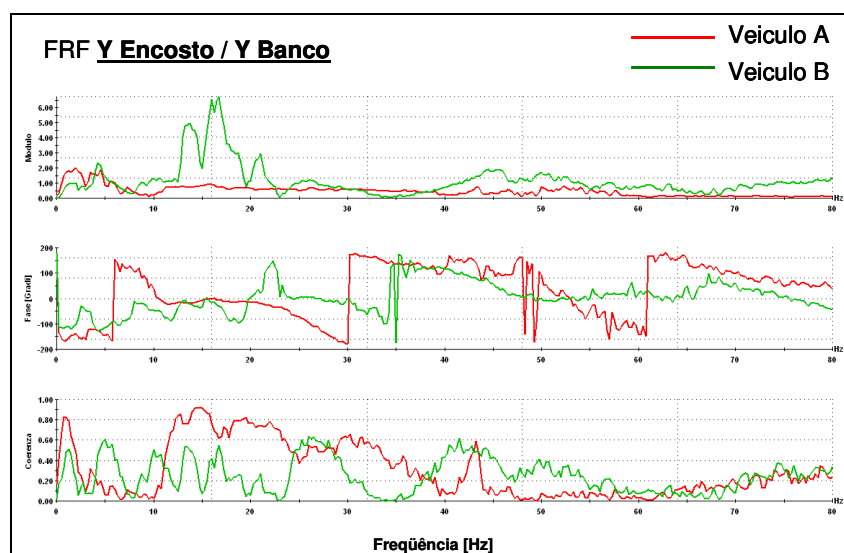


Figura 13. Comparativo da transmissibilidade (modulo, fase e coerência) do eixo Y do encosto e Y do banco entre os veículos A e B.

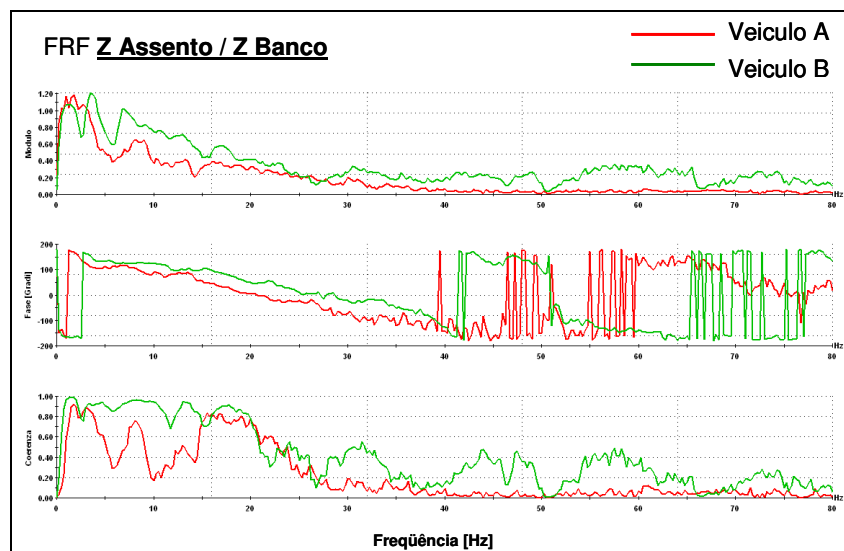


Figura 14. Comparativo da transmissibilidade (modulo, fase e coerência) do eixo Z do assento e Z do banco entre os veículos A e B.

5. CONCLUSÃO

A utilização de assento com sistema suplementar de amortecimento reduz sensivelmente a amplitude de vibração. Efeito negativo observado é o aumento da movimentação (baixa frequência), o que deve ser abordado com extremo critério; pois impacta na dirigibilidade e na segurança na condução do veículo.

6. AGRADECIMENTO

Os autores gostariam de agradecer à FAPEMIG pela viabilização desta linha de pesquisa (projeto TEC951-09) e à FIAT automóveis pela coleta dos dados.

7. REFERÊNCIAS

- Bazil, B., 2010, "Discomfort Caused by x-Axis Vibration of the Back: Effect of Backrest Inclination". Gosport – United Kingdom: 45th United Kingdom Conference on Human Responses to Vibration, held at Institute of Naval Medicine.
- BS 6841, 1987, Guide to measurement and evaluation of human exposure to whole-body mechanical vibration and repeated shock. London: British Standards Institution
- Directive 2002/44/EC, 2002, On the Minimum Health and Safety Requirements Regarding the Exposure of Workers to the Risk Arising From Physical Agents (Vibration) // Directive. - [s.l.] : European Parliament and of the Council.
- Griffin, M.J., 1996, "Handbook of Human Vibration". London: Academic Press
- Griffin, M.J., 2007, "Handbook of Noise and Vibration Control". Crocker, M.J. John Wiley & Sons, Inc.
- ISO2631-1, 1997, Mechanical Vibration and Shock - Evaluation of Human Exposure to Whole-Body Vibration - Part 1: General Requirements // Standard. - Geneve : International Standardization Organization.
- ISO2631-1:1997/Amd. 1:2010, 2010, Mechanical Vibration and Shock - Evaluation of Human Exposure to Whole-Body Vibration - Part 1: General Requirements - Amendment 1// Standard. - Geneve : International Standardization Organization.
- Ebe, K., 2010, "Effect of Cushion Pad Thickness on Seat Discomfort; Study of New Polyurethane Foam for Reducing Seat Cushion Pad Thickness". Gosport – United Kingdom: 45th United Kingdom Conference on Human Responses to Vibration, held at Institute of Naval Medicine.
- Fai, T.C., 2007, "Vehicle Seat Design: State of the Art and Recent Development". Federation of Engineering Institutions of Islamic Countries. Gosport – United Kingdom: 45th United Kingdom Conference on Human Responses to Vibration, held at Institute of Naval Medicine.
- FIAT, 2006, Vehicle Suspension N.V.H., 2006. Torino: Centro Ricerche Fiat.
- Oliveira EA, 2006, "'Efeitos da Vibração de Corpo Inteiro (VCI), Provocada por Veículos Automotivos, em Seres Humanos: Verificação no Conforto e na Saúde".. Belo Horizonte/MG, Brasil, Trabalho de Graduação, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Minas Gerais.
- Qiu, Y., 2010, "The Dynamic Performance of a Suspension Seat Assessed with Broadband Random Excitation and ISO 7096: 2000". Gosport – United Kingdom: 45th United Kingdom Conference on Human Responses to Vibration, held at Institute of Naval Medicine.
- Rimell, A.N., 2007, "Design of Digital Filters for Frequency Weightings Required for Risk Assessments of Workers Exposed to Vibration". Department of Human Sciences, Loughborough University.
- Zhou, Z., 2010, "Equivalent Comfort Contours for Vertical Whole-Body Vibration at Frequencies Between 1 and 16Hz". Gosport – United Kingdom: 45th United Kingdom Conference on Human Responses to Vibration, held at Institute of Naval Medicine.

8. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído neste trabalho.

COMPARATIVE EVALUATION OF THE VEHICLE SEAT VIBRATION COMFORT DUE TO WHOLE BODY VIBRATION (WBV)

Beda, L.C.¹ luiz.beda@fiat.com.br

Duarte, M.L.M² mlduarte@dedalus.lcc.ufmg.br

¹ FIAT Automóveis S.A., Chassi Experimentation – Handling Group, Rodovia Fernão Dias, km 429, 32530-000, Betim/MG, luiz.beda@fiat.com.br

² DEMEC/UFMG – Mechanical Engineering Department, Universidade Federal de Minas Gerais, GRAVI_{SH/UFMG} – Group of Acoustics and Vibration in Human Beings of UFMG, Av. Antônio Carlos, 6627 – Campus Universitário, Belo Horizonte/MG, Brasil, 31270-901

Abstract: *It is very important to evaluate the automotive seat efficiency under the human comfort focus when the vehicle is submitted to Whole Body Vibration (WBV). Therefore, this work aims to present the concepts and methodology used in such an evaluation, by showing a vibrational performance comparative study between a conventional vehicular seat and another supplied with an additional isolation system. It can be verified that the use of the supplementary damped system decreases considerably the vibration amplitude. However, an undesired effect is an increase of the vibration amplitude in lower frequency, what needs to be taken cautiously, since it impacts on the dirigibility and safety during the vehicle driving.*

Key-words: *Whole-Body Vibration (WBV), SEAT, Automotive Seat*

9. ACKNOWLEDGMENT

The authors would like to thank both FAPEMIG for helping this research area (Project TEC951-09) and FIAT for the data acquisition.

10. RESPONSIBILITY NOTICE

The authors are the only responsible for the printed material included in this paper.