

ESTUDO DE ATENUAÇÃO DE RUÍDO ESTRUTURAL ATRAVÉS DE MATERIAL DE ABSORÇÃO SONORA EM AUTOMÓVEIS

Rogério Gondim Costa, rogeriogondim@gmail.com¹
Claysson Bruno Santos Vimieiro, claysson@gmail.com¹
Eder de Castro Lemos, eder.clemos@gmail.com¹

¹Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Av. Dom José Gaspar, 500, Coração Eucarístico, BH - MG

Resumo: O conforto vibroacústico em veículos possui grande importância na composição da qualidade global e tornou-se uma exigência dos clientes. Desta forma, os fabricantes estão a cada dia mais empenhados em buscar soluções mais eficazes, com tempo de implantação mais curto e menor custo possível. A aplicação de uma solução para atenuação de ruído em um automóvel depende de um bom conhecimento da fonte e da forma de transmissão ao habitáculo. O ruído é transmitido ao interior de um veículo através do ar ou da estrutura. As soluções para os ruídos transmitidos por via estrutural são, geralmente, mais complexas para implementação, uma vez que possuem diversos vínculos com outros quesitos de desempenho do veículo pois estão relacionadas às modificações que podem contemplar a estrutura, suportes ou coxins, dentre outros. Este trabalho aborda um estudo da atenuação de ruído estrutural através da aplicação de material de absorção sonora, uma vez que estes são de fácil manuseio, possuem menor custo e requerem tempo menor para implementação. Para o seu desenvolvimento foi construído um protótipo de habitáculo de um automóvel utilizando tubos e chapas de aço. Foram realizados testes de função de resposta em frequência (FRF) vibroacústica, através da aplicação de força no lado externo da carroceria e medição de pressão sonora no interior do habitáculo, com e sem material de absorção sonora. Observou-se que os resultados apresentados foram bastante positivos para a faixa de frequências de interesse, de 100 a 600 Hz. Serão apresentados neste trabalho a metodologia, as análises, os resultados detalhados e as conclusões.

Palavras-chave: ruído estrutural, conforto acústico, absorção sonora, FRF.

1. INTRODUÇÃO

Devido às diversas fontes de ruídos e vibrações que estão presentes nos veículos e diversas condições dinâmicas nas quais os veículos são expostos, as soluções de problemas relacionados aos ruídos e vibrações tornam-se complexas por apresentarem amplas faixas de frequências e combinação de formas de transmissão. Os fabricantes de veículos têm investido em pesquisas que buscam a solução de problemas relacionados aos ruídos e vibrações que contemplem menor tempo de desenvolvimento, menor custo e que assegure a boa qualidade. Portanto, o bom conhecimento das formas de geração e de transmissão do ruído ao habitáculo é de fundamental importância.

Em um automóvel, o conjunto motopropulsor é a principal fonte de ruído e vibrações. Destacam-se também o sistema de escapamento de gases e o conjunto pneus e suspensão. Estes três sistemas transmitem uma parcela do ruído bastante considerável ao habitáculo através da estrutura. O ruído pode ser transmitido ao habitáculo através do ar (ruído aéreo) e através da estrutura (ruído estrutural). O ruído estrutural é originado das vibrações que a estrutura recebe, propaga por toda a carroceria e a vibração dos painéis gera o ruído na cavidade interna do veículo.

As soluções para atenuação de ruído estrutural são mais complexas que as soluções para o ruído aéreo. O ruído aéreo geralmente é tratado através de isolamentos que possuem características de isolamento e absorção, e são aplicados no pavimento, parede corta fogo, vão motor, entre outros. Estes isolamentos funcionam bem para atenuação de ruído de frequências altas. Para atenuar o ruído transmitido pela estrutura, as formas mais eficazes requerem uma otimização das características vibracionais da carroceria, principalmente nos pontos de contato de sustentação das fontes vibracionais e nos suportes de sustentação ou otimização dos elementos elásticos que estão localizados entre a fonte e a estrutura, que são os coxins. Estes componentes possuem outros vínculos como, por exemplo, a carroceria tem a deformação controlada em caso de colisão, os suportes e coxins precisam sustentar os sistemas sem se romperem. Devido a estes vínculos, as propostas de soluções precisam ser submetidas a diversos estudos, o que torna o tempo de desenvolvimento longo e o custo elevado.

Este trabalho propõe um estudo para analisar o efeito da absorção sonora na atenuação do ruído transmitido por via estrutural. O objetivo do trabalho é avaliar o efeito da atenuação de ruído estrutural através da aplicação de isolamentos

de material poroso no interior de um protótipo de habitáculo de automóvel, utilizando uma metodologia simplificada. Será avaliada a faixa de 100 a 600 Hz, onde há a predominância do ruído estrutural. A faixa abaixo de 100 Hz não será avaliada neste trabalho pois predominam as vibrações e a faixa acima de 600 Hz predomina o ruído transmitido através do ar. Os isolamentos porosos são de custo relativamente baixos e de rápido desenvolvimento de ferramental e implementação, podendo ser uma solução viável para atenuação de ruído estrutural.

2. RUÍDO VEICULAR

O termo NVH (*Noise Vibration Harshness*) é utilizado para englobar os fenômenos que determinam o conforto vibroacústico de veículos, que traduzido significa ruído, vibração e aspereza. A vibração é um fenômeno de baixas frequências e o ruído de média e altas frequências. O *harshness* ou aspereza, pode ser entendido como um fenômeno de qualidade subjetiva que está relacionado à natureza transitória da vibração e do ruído, ou seja, ocorre devido a uma combinação de vibração e ruído, em faixa de médias frequências, principalmente entre 100 e 600 Hz.

O ruído interno de um veículo é o resultado de uma série de fontes geradoras funcionando simultaneamente. Dentre estas fontes, o sistema de propulsão é considerado a principal fonte de ruído e vibrações (Gerges, 2005). Este sistema que é composto pelo motor, o câmbio, o sistema de aspiração e o sistema de escapamento de gases irradiam ruído pelo ar através de suas superfícies e gera vibrações que são transmitidas pela estrutura. O ruído de pneus e suspensão, que é conhecido como ruído de rolagem de pneus, mesmo sob condições de aceleração, representa a maior contribuição para o ruído total emitido pelo veículo, após o ruído do sistema de propulsão (Gerges, 2005). De modo geral, pode-se dizer que, para baixas velocidades, o ruído global gerado pelo veículo é proveniente do sistema motopropulsor e, em altas velocidades, a maior contribuição provém dos pneus.

Segundo Goetchius (2010), para uma discussão completa sobre ruído e vibração é necessária a introdução do conceito de fonte-caminho-receptor, onde cada fenômeno pode ser dividido em sistemas que definem a fonte geradora, o caminho de transmissão e o ponto de recepção. Os fenômenos percebidos pelos ocupantes de um veículo, são resultantes de excitações das fontes geradoras, atuando simultaneamente, através de diversos caminhos os quais são transmitidos até o receptor. A relação entre as fontes de ruído e vibração e suas trajetórias até encontrar o receptor está representada, de forma simplificada, na Fig. 1.



Figura 1. Esquema do processo de percepção do ruído em veículos.

3. TRANSMISSÃO DO RUÍDO

A transmissão do ruído em um veículo pode ser por via aérea ou via estrutural. A transmissão por via aérea é dependente das características de isolamento de ruído da estrutura e a capacidade de absorção dos materiais utilizados no interior do veículo. A transmissão por via estrutural ocorre devido à propagação de vibrações geradas pelas fontes através da estrutura do veículo, e podem ser percebidas pelos ocupantes tanto como vibração em pontos de contato, quanto como ruído, uma vez que a energia vibratória é propagada pela estrutura do veículo, causando vibração nos painéis, que por sua vez, estando em contato com a cavidade interna do veículo, induzem flutuações da pressão interna, que são transmitidas até o ouvido dos ocupantes. A Fig. 2 apresenta a divisão entre sistema ativo (fonte) e passivo (receptor) e formas de transmissão de ruído (estrutural e aéreo) e de vibração (estrutural).

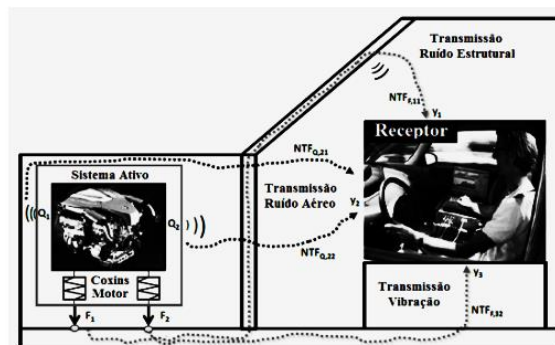


Figura 2. Fontes e caminhos de propagação em modelo de análise de caminhos de transmissão em veículo (Gajdàtsy, 2011).

De acordo com Harisson (2004), as principais fontes de ruído estrutural em um veículo são o conjunto motopropulsor e o conjunto pneus, rodas e suspensão. Conforme Goetchius (2010), o ruído estrutural é percebido em frequências até 600 Hz, enquanto que o ruído aéreo pode ser percebido no intervalo de 400 a 10000 Hz. O gráfico da Fig. 3 demonstra a contribuição dos ruídos aéreo e estrutural por faixa de frequência.

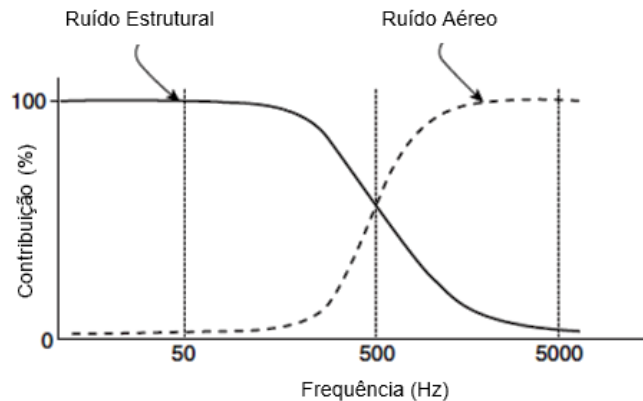


Figura 3. Contribuição de ruído estrutural e ruído aéreo no ruído global de um veículo (Goetchius, 2010).

4. FUNÇÃO DE RESPOSTA EM FREQUÊNCIA

A Função de Resposta em Frequência (FRF) é a relação entre os espectros de frequência do sinal de saída (resposta) e do sinal de entrada (excitação) de um sistema. A FRF caracteriza o comportamento dinâmico de sistemas lineares. A Fig. 4 mostra de forma esquemática a FRF. As Eq. (1) e a Eq. (2) demonstram o cálculo da FRF.

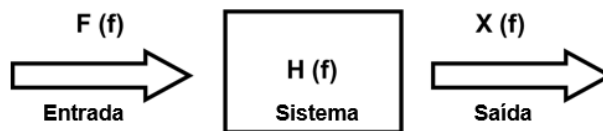


Figura 4. Esquema de Função de resposta em Frequência.

$$F(f) \times H(f) = X(f) \quad (1)$$

$$H(f) = \frac{X(f)}{F(f)} \quad (2)$$

Onde $H(f)$ é a função de resposta em frequência, $X(f)$ o sinal de saída no domínio da frequência e $F(f)$ o sinal de entrada no domínio da frequência.

As Funções de Resposta em Frequência podem ser FRF de vibração, acústica e vibroacústica. A FRF de vibração descreve caminho puramente sólido, ou seja, entre dois pontos de uma estrutura, por onde se propagam ondas vibracionais. A excitação é dada por uma força aplicada à estrutura e a resposta dada por algum parâmetro de vibração como a aceleração, a velocidade ou o deslocamento. A FRF acústica descreve trajetória aérea, entre dois pontos envolvidos por ar. Tanto a excitação quanto a resposta são dadas em pressão sonora. A FRF vibroacústica descreve uma trajetória híbrida, ou seja, origina na vibração da estrutura através da aplicação de uma força e a resposta se dá em um ponto envolvido por ar, através da pressão sonora. Para este tipo de FRF, a partir da aplicação de um esforço na estrutura, em algum local da trajetória a estrutura irradia energia sonora que é, então, transmitida pelo ar até o ponto do receptor.

5. METODOLOGIA

5.1. Protótipo da carroceria

Para o desenvolvimento deste trabalho foi construído um protótipo de carroceria de um automóvel, com dimensões aproximadas de um modelo *hatch* pequeno. A estrutura é composta por tubos quadrados de aço SAE 1010 de 30x30 mm e de 20x20 mm, espessura 1,5mm, soldados, conforme a Fig. 5, e é fechada com chapas de aço 1010 de 0,910 mm de espessura através de rebites, vedadas com silicone, exceto na parte lateral esquerda dianteira que é aparafusada para permitir o acesso ao seu interior, conforme Fig. 6.

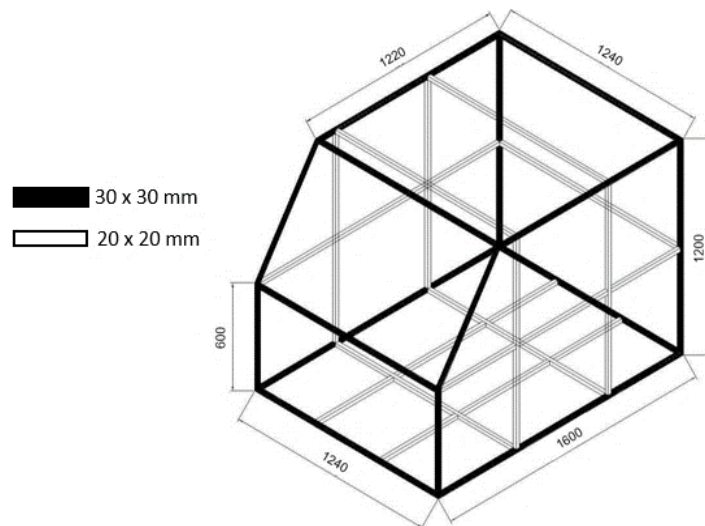


Figura 5. Estrutura tubular do protótipo.

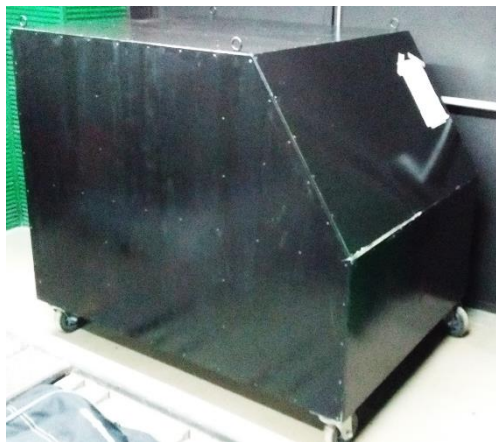


Figura 6. Protótipo com chapas.

O protótipo é apoiado em quatro rodízios giratórios de 6 polegadas para permitir sua locomoção. A forma de apoio da carroceria no solo através dos rodízios não interfere nos resultados dos testes para a faixa de frequência de interesse, 100 a 600 Hz. A forma de apoio interfere no comportamento vibracional em baixas frequências.

5.2. Testes experimentais

Os testes experimentais consistem em medições de Funções de Resposta em Frequência vibroacústica do protótipo da carroceria. A excitação é realizada através de um martelo de impacto com um transdutor de força e a resposta é medida através de um microfone posicionado na região da orelha direita do motorista, conforme representado esquematicamente na Fig. 7.

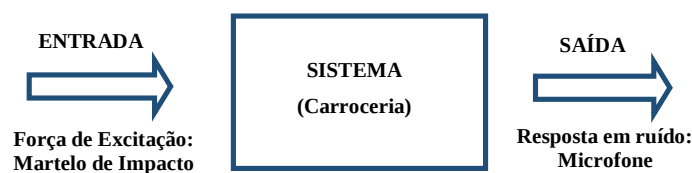


Figura 7. Modelo do sistema de análise.

Para a aquisição dos dados, processamento e análises foi utilizado o software LMS TestLab versão 15 e o analisador LMS Scadas Mobile de 8 canais do fabricante Siemens. Os sensores utilizados foram o martelo de impacto modelo 086C03 de sensibilidade 2,25 mV/N do fabricante PCB e o microfone de 1/2" de campo livre modelo 46AE de sensibilidade 50 mV/Pa do fabricante GRAS. Os equipamentos utilizados estão ilustrados na Fig. 8.



Figura 8. Equipamentos utilizados nos testes.

O ponto de aplicação da força é na região dianteira inferior esquerda. Este ponto foi escolhido por ser um ponto rígido da carroceria, na junção de tubos de 30 x 30 mm e por situar na região de importantes fontes de ruído estrutural de um veículo como sistema de propulsão e suspensão dianteira. A Fig. 9 demonstra os pontos de medição.

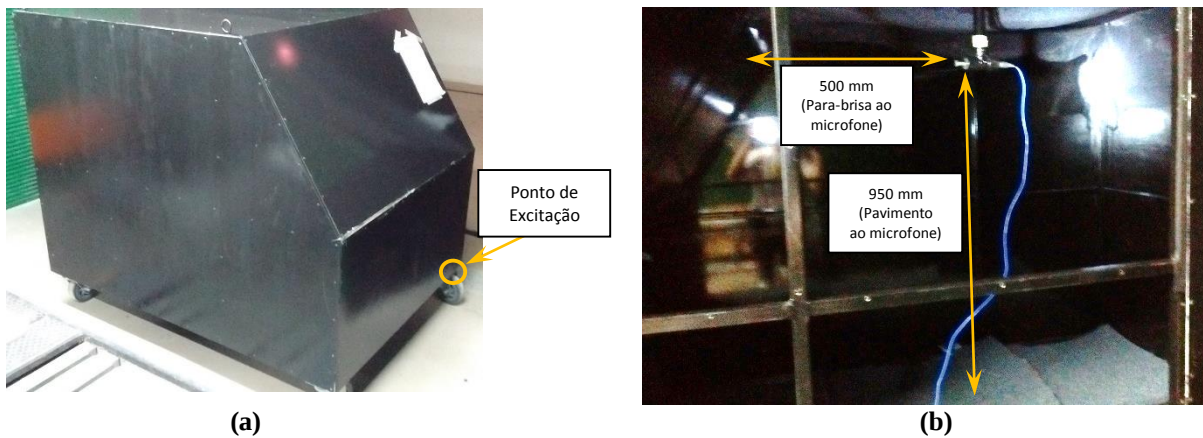


Figura 9. Posicionamento dos pontos de excitação (a) e resposta (b).

5.3. Configurações dos testes

As configurações dos testes são:

- Carroceria sem isolamentos;
- Carroceria com isolamentos no pavimento, na parede corta fogo e teto.

O material poroso utilizado nos testes são mantas de isolamento poroso de fibra têxtil de aplicação automotiva com gramatura de 1400 g/m², conforme Fig. 10.

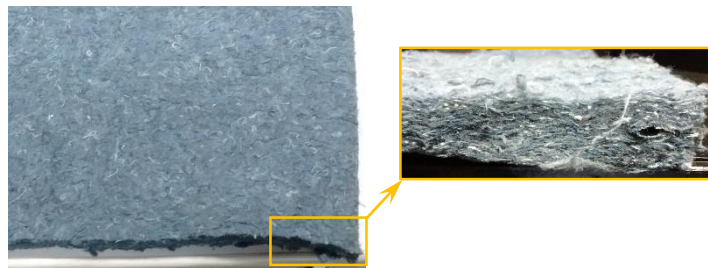


Figura 10. Manta de isolamento poroso de fibra têxtil, gramatura 1400 g/m².

A Fig. 11 demonstra a carroceria com os isolamentos aplicados. O isolamento do teto foi aplicado com o suporte de uma tela de poliéster aparafusada na carroceria.



Figura 11. Aplicação dos isolamentos porosos na carroceria: (a) pavimento e parede corta fogo e (b) teto.

6. RESULTADOS E ANÁLISES

O gráfico da Fig. 12 apresentam os resultados dos testes de FRF vibroacústica nas duas configurações testadas.

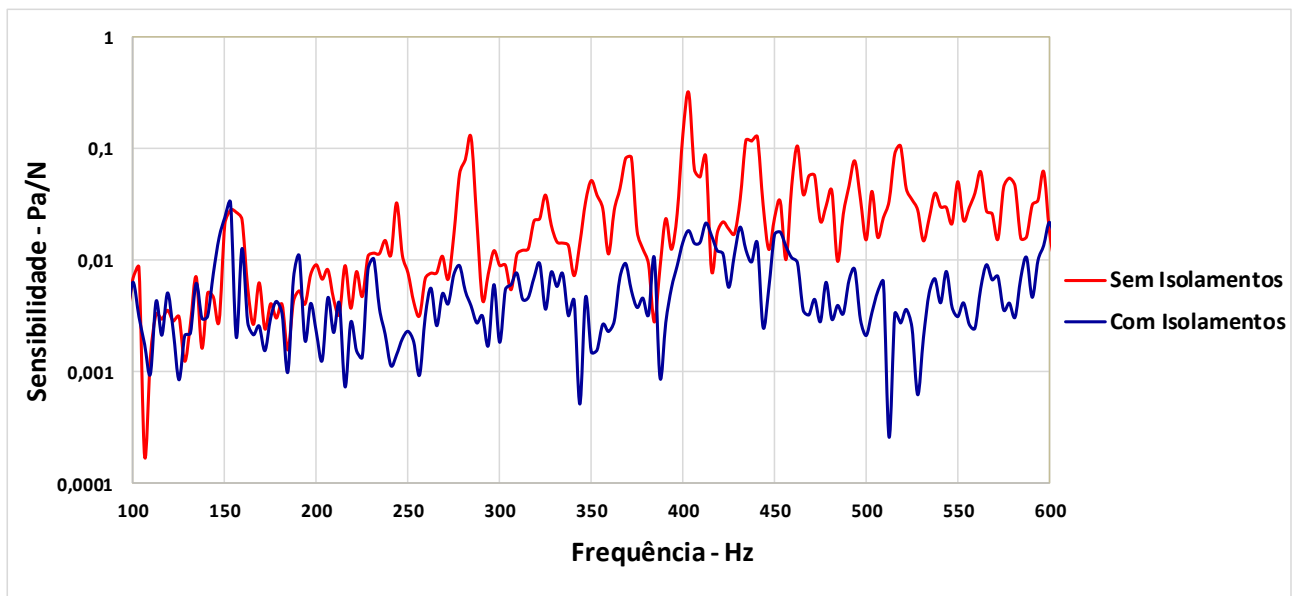


Figura 12. Comparativo da função sensibilidade vibroacústica das configurações com e sem isolamentos.

As FRFs obtidas são as funções de sensibilidade vibroacústica. Os valores mais elevados da função sensibilidade vibroacústica indica que a carroceria responde com maior intensidade à uma excitação naquela frequência, desta forma, quanto maior o valor da sensibilidade, pior será o comportamento acústico da carroceria.

O gráfico da Fig. 12 demonstra que houve atenuação de ruído estrutural com a carroceria na configuração com isolamentos, principalmente nas seguintes faixas de frequência: 200 Hz, 240 Hz, 280 Hz, 320 a 380 Hz, 390 a 420 Hz, 430 a 440 Hz e 460 a 580 Hz.

7. CONCLUSÕES

A atenuação sonora obtida com a carroceria na configuração com isolamentos indica que o aumento da absorção no interior do habitáculo contribui para a melhoria do conforto acústico principalmente na faixa de médias frequências, onde predomina a sensação de aspereza (*harshness*), faixa na qual atuam fontes sonoras importantes como o motopropulsor e conjunto rodas e suspensão.

Os resultados deste trabalho foram considerados satisfatórios uma vez o aumento da absorção sonora contribui com a melhora do conforto acústico na faixa de médias frequências, considerada bastante crítica devido à sensação de ruído do tipo aspereza. Além disso, a técnica utilizada é considerada simples, de rápida execução, e os isolamentos utilizados são de custos mais baixos que outras possíveis soluções, podendo ser uma solução viável para o refinamento de conforto acústico de veículos.

8. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao suporte da FAPEMIG (Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais), da CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) e da PUC Minas para a realização deste trabalho.

9. REFERÊNCIAS

- Gajdàtsy, P.A., Advanced Transfer Path Analysis Methods. 2011. 208p. Doctoral Dissertation – Faculteit Toegepaste Wetenschappen, Katholieke Universiteit Leuven, Leuven.
- Gerges, S. N. Y., 2005. Ruído e vibrações veiculares. 1ª Ed. NR Editora, Consultoria e Treinamento, Florianópolis, Brasil, 739p.
- Goetchius, G.M. Body Structure Noise and Vibration Refinement. In: WANG, X.. Vehicle Noise and Vibration Refinement. 1ª ed. Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2010. Capítulo 15, páginas 351-386.
- Harrison, M. Vehicle Refinement: Controlling Noise and Vibration in Road Vehicles. 1a ed. Burlington: Elsevier Butterworth-Heinemann, 2004. 345p.

10. RESPONSABILIDADE AUTURAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

STUDY OF STRUCTURE BORNE NOISE ATTENUATION THROUGH SOUND ABSORPTION MATERIAL IN AUTOMOBILES

Rogério Gondim Costa, rogeriogondim@gmail.com¹
Claysson Bruno Santos Vimieiro, claysson@gmail.com¹
Eder de Castro Lemos, eder.clemos@gmail.com¹

¹Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Av. Dom José Gaspar, 500, Coração Eucarístico, BH - MG

Abstract. *The vibroacoustic comfort in vehicles has great importance in the composition of the overall quality and has become a important costumer's requirement. Therefore, manufacturers are committed to finding more efficient solutions, with shorter deployment times and lower cost. The application of a noise attenuation solution in an automobile depends on a good knowledge of the source and the form of transmission to the passenger compartment. Noise is transmitted to the interior of a vehicle through the air or the structure. Structure borne noise solutions are generally more complex for implementation, since they have different links with other vehicle performance requirements because they are related to modifications that may include the structure, supports or mounts, among others. This work addresses a study of the structure borne noise attenuation through the application of sound absorption material, since these are easy to handle, have lower cost and require less time for implementation. For its development was built a prototype of cabin of a car using tubes and steel plates. Vibroacoustic frequency response function (FRF) tests were performed by applying force to the external side of the body and measuring sound pressure inside the passenger compartment, with and without sound absorbing material. It was observed that the results presented were quite positive for the range of frequencies of interest, from 100 to 600 Hz. The methodology, analyzes, detailed results and conclusions will be presented in this paper.*

Keywords: *structural borne noise, acoustic comfort, sound absorption, FRF*