

AVALIAÇÃO DO ISOLAMENTO DE VIBRAÇÕES POR ELASTÔMEROS

Artigo elaborado por: Jordão Gheller, SENAI - CETEPO.

I. Introdução

Equipamentos motorizados, em sua maioria, vibram em uma determinada frequência. A transmissão desta vibração através de uma estrutura, em alguns casos, ser amplificada, trazendo danos irreparáveis para o desempenho do sistema. Muitos equipamentos podem ter o seu funcionamento prejudicado na presença de vibrações. Um exemplo deste problema são os equipamentos eletrônicos portáteis, tais como tocadores de CD's, eletroeletrônicos, os quais são potencialmente sensíveis às vibrações e ao impacto e precisam ser isolados para garantir uma boa performance.

De forma a minimizar os efeitos nocivos da vibração, isoladores de vibração são utilizados em uma variada gama de produtos de engenharia e têm a finalidade de reduzir a transmissão de energia de um corpo para o outro. Existem diferentes formas de reduzir a transmissão desta energia, uma das mais utilizadas é a conexão da fonte vibrante com a estrutura que se quer isolar por um material que absorva energia. Materiais elastoméricos, em sua maioria, cumprem bem esta função.

O conhecimento do perfil de absorção de vibração do material que será utilizado é de fundamental importância para o sucesso no projeto e desenvolvimento do produto. O poder de absorção de energia dos materiais elastoméricos é função da frequência da excitação, sendo assim, especial atenção deve-se ter no projeto deste tipo de sistema de isolamento, das frequências e do material a ser utilizado. É através da avaliação das propriedades dinâmicas de um elastômero que a propriedade de absorção de vibração será caracterizada. Este trabalho apresenta um estudo da transmissibilidade e absorção de vibração para compostos de borracha natural carregados com diferentes tipos de negros-de-fumo, teores de plastificante e sob diferentes condições de contorno.

Também é avaliada comparativamente a absorção da vibração entre duas borrachas conhecidamente distintas nesta propriedade: a borracha natural (NR) e a clorobutil (CIIR).

II. Desenvolvimento

II.1. Discussão teórica

Todo o sistema possui um modo característico de vibrar, esta propriedade é função da distribuição da massa e da rigidez do sistema. As frequências naturais de vibração (frequências nas quais a estrutura tem mais facilidade para vibrar) e os modos associados a elas são uma forma de medir a propriedade vibracional do material. Uma estrutura solicitada com uma excitação harmônica pode entrar em ressonância em frequências próximas à frequência natural.

Sistemas estruturais elastoméricos podem ser representados por um arranjo de molas, massas e amortecedores interconectados. A distribuição espacial das molas (resposta elástica) e amortecedores (resposta viscosa) são os responsáveis pelas frequências naturais e modos de vibração associados. Em um componente elastomérico, a força resultante é considerada como a combinação do sistema mola-amortecedor, conforme descrito por Ferry³. As características de absorção de energia podem ser medidas através de um fator adimensional chamado de fator de perda (loss factor ou $\tan\delta$), sendo este a razão entre a resposta viscosa pela elástica do material. Materiais com alto fator de perda (e conseqüentemente com alta defasagem entre a excitação e a resposta) possuem uma componente viscosa elevada, dissipando mais energia do que materiais que possuam valores menores fatores de perda. Um fator de perda de cerca de 0,1 é, usualmente, considerado um valor mínimo para um amortecimento significativo. Quando se compara este valor entre diferentes materiais¹, observa-se a qualidade superior do amortecimento que os elastômeros conferem (Tabela 1).

Material	Fator de perda aproximado
Alumínio	0,007-0,005
Aço	0,05-0,10
Neoprene	0,1
Borracha butílica	0,4

Tabela 1. Fatores de perda para diferentes materiais.

Vale lembrar que, para materiais elastoméricos, o fator de perda é função da frequência da excitação. A performance da isolamento de um sistema é determinada pela sua transmissibilidade (T). Entenda-se transmissibilidade como a taxa de vibração transmitida de um sistema para outro. A transmissibilidade é dependente da frequência natural de vibração, da frequência imposta e do fator de perda do material, e é equacionada conforme segue²:

$$T = \left[\frac{1 + (\eta r)^2}{(1 - r^2)^2 + (\eta r)^2} \right]^{1/2} \quad \text{Equação 1}$$

Que pode ser reduzida para:

$$T = \frac{1}{r^2 - 1}, \text{ quando } r > \sqrt{2} \text{ e } \eta \approx 0 \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

- T = transmissibilidade da vibração aplicada no material, adimensional
- r = razão entre a frequência imposta e a natural = f/f_n
- η = fator de perda

A Figura 1 apresenta duas curvas típicas de transmissibilidade (T) x razão de frequência (r). Uma curva representa um material com alto amortecimento (fator de perda de 0,5) e outra um material com baixo amortecimento (fator de perda de 0,05).

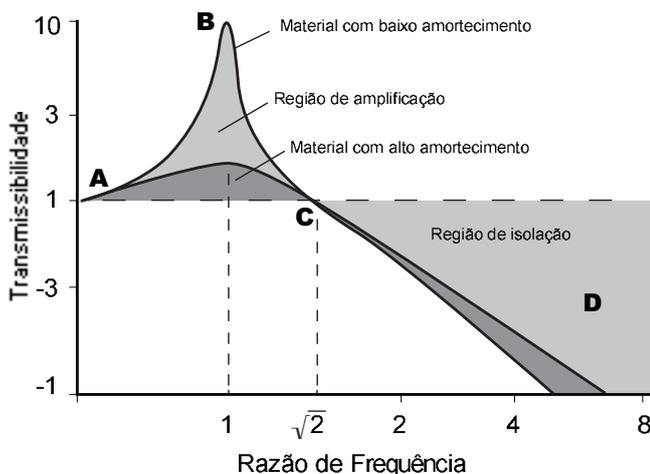


Figura 1. Curvas típicas de transmissibilidade.

A transmissão da vibração aumenta consideravelmente em regiões próximas a frequência de vibração natural do material. Observa-se pelo gráfico da Figura 1 que em frequências de trabalho iguais à frequência natural do material (razão de frequência ≈ 1) o sistema opera em ressonância. Quando a razão de frequência é igual à raiz quadrada de dois, a transmissibilidade entra na região de isolamento. Acima desta frequência, quando a transmissibilidade é menor que 1, o material trabalhará como um isolador. Exemplificando: materiais com valores de transmissibilidade de 0,2, absorvem 80% da vibração imposta, e são considerados bons isolantes de vibração.

É importante ter-se claro que a qualidade do isolamento de um artefato de borracha está ligada, além da frequência de deformação a que o material será submetido, à quantidade de deformação e a temperatura de trabalho deste material.

A análise da transmissibilidade também pode ser feita diretamente em função da frequência de trabalho aplicada ao material em estudo, conforme se observa no gráfico apresentado na Figura 2 em um estudo de borrachas com diferentes valores de fator de perda.

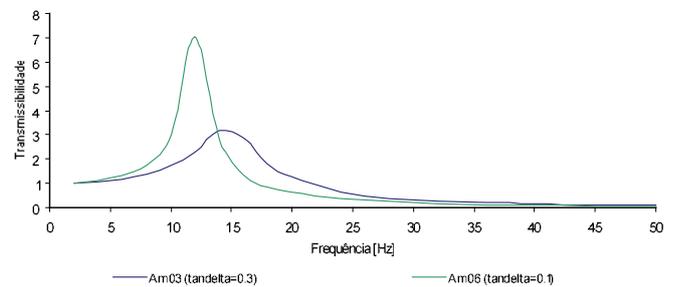


Figura 2. Influência da frequência de trabalho na transmissibilidade para duas amostras de borracha com diferentes fatores de perda.

II.2. Composições e experimentos

Para a realização do trabalho foram elaborados 05 compostos de borracha conforme composições descritas abaixo:

- CIIRN330(65)ARO(20): composto de borracha clorobutil com 65phr de negro de fumo N330 e 20phr de óleo aromático;
- GEBN330(65): composto de borracha natural com 65phr de negro de fumo N330;
- GEBN660(65): composto de borracha natural com 65phr de negro de fumo N660;
- GEBN330(65)ARO(20): composto de borracha natural com

Matéria Técnica

65phr de negro de fumo N330 e 20phr de óleo aromático;
- GEBN660 (65)ARO(20): composto de borracha natural com 65phr de negro de fumo N660 e 20phr de óleo aromático.
Foi utilizado um sistema convencional de cura:
- 1,50phr de enxofre;
- 1,00phr de dissulfeto de benzotiazol (MTS) e
- 0,40phr de dissulfeto de tetrametiluram (TMTD).
As misturas foram realizadas conforme procedimento mistura padrão4. Após a elaboração dos compostos, foram determinadas as características de cura5 e posterior vulcanização dos corpos-de-prova5. As dimensões aproximadas dos corpos-de-prova utilizados para os testes foram: 12,5mm de espessura e 29mm de diâmetro. A avaliação da transmissibilidade foi realizada em um equipamento para avaliação dinâmica da elastômeros, marca MTS, modelo 831 (Figura 3). Os compostos foram testados com carga uniaxial em diferentes freqüências, temperaturas e deformações.

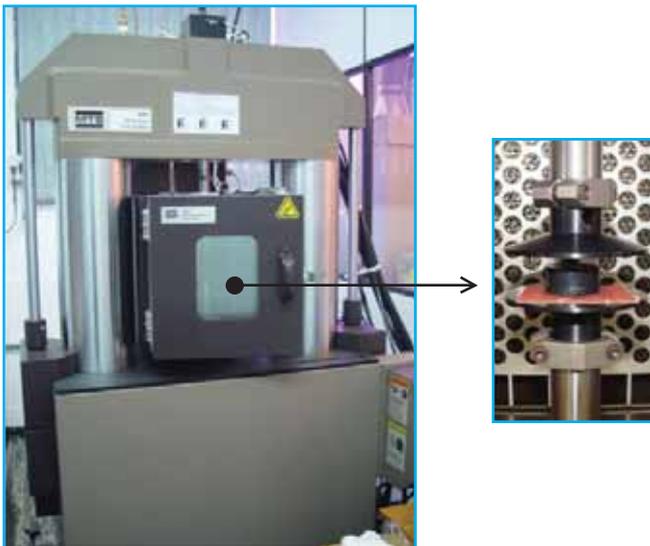


Figura 3. Equipamento para avaliação dinâmica da elastômeros e sistema de aplicação de carga uniaxial.

II.3. Resultados

Na Figura 4 e Figura 5 são apresentados os resultados para dois compostos, um a base de borracha natural e outro a base de borracha clorobutil, quando testados em diferentes temperaturas. Na Figura 6 é apresentada a variação da tandelta em função da temperatura para estes dois compostos

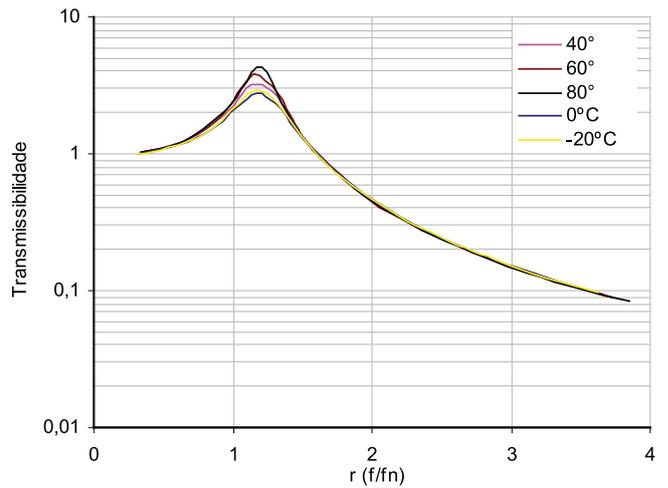


Figura 4. Influência da temperatura na transmissibilidade para o composto CIIR N330(65)ARO(20). Amplitude de deformação de 2mm.

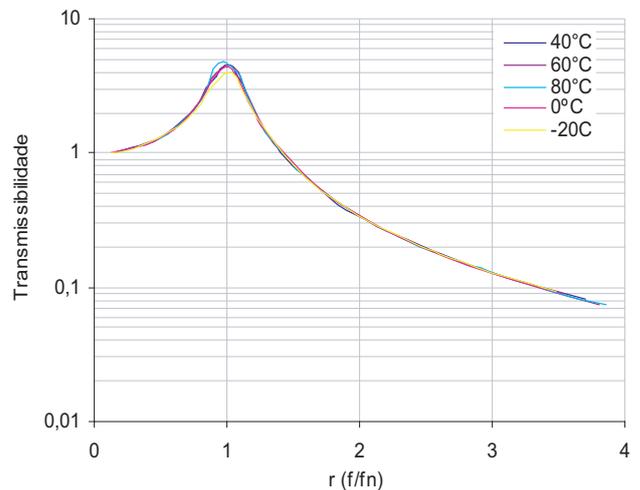


Figura 5. Influência da temperatura na transmissibilidade para o composto GEB N330(65)ARO(20). Amplitude de deformação de 2mm.

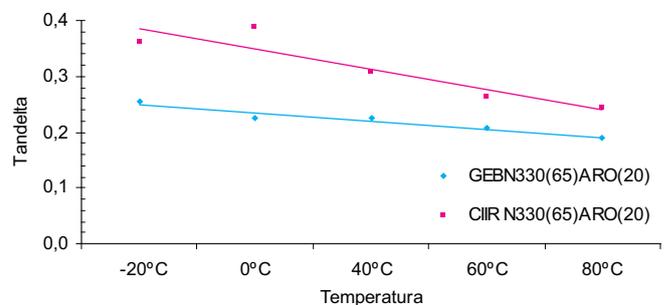


Figura 6. Variação da tandelta em função da temperatura para os compostos de borracha natural e clorobutil. Amplitude de deformação de 2mm, freqüência de 16Hz.

Na Figura 7 são apresentados os valores de transmissibilidade obtidos para um composto quando submetido à diferentes deformações iniciais (2 e 5mm, ou 20 e 40% respectivamente) e, conseqüentemente, a cargas distintas. Na Tabela 2 estão descritos os valores de tandelta e transmissibilidade encontrados na região próxima a freqüência de ressonância.

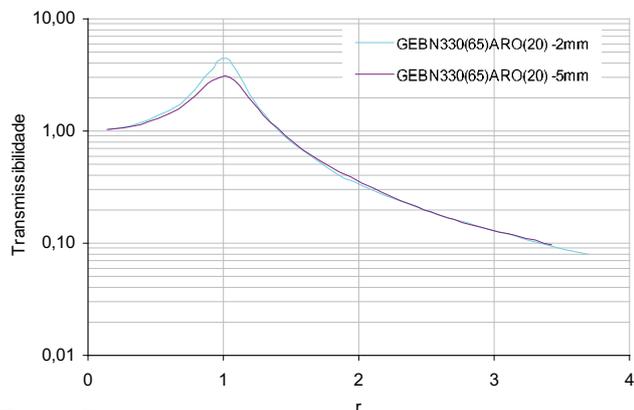


Figura 7. Transmissibilidade de uma amostra de borracha quando submetida a diferentes cargas iniciais. Temperatura de ensaio de 40°C, amplitude de deformação de 2mm.

Deformação, %	Tandelta na freqüência de 14Hz	Transmissibilidade na região de ressonância, %
20	0,225	45
40	0,334	28

Tabela 2. Variação da tandelta e transmissibilidade em função da deformação.

Na Figura 8 são apresentados os valores de transmissibilidade obtidos para os compostos submetidos a diferentes freqüências de deformação.

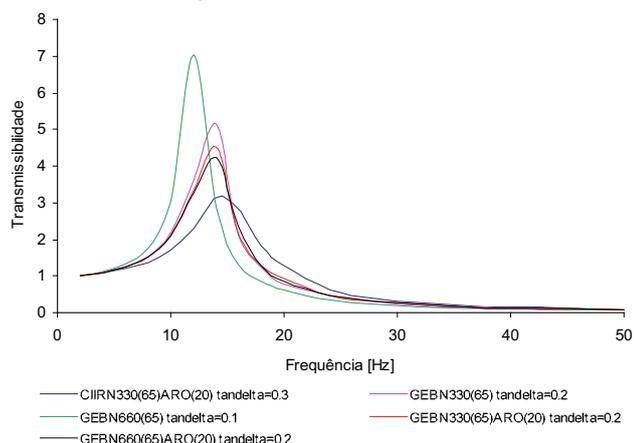


Figura 8. Influência da freqüência de trabalho na transmissibilidade para cinco amostras de borracha com diferentes tandeltas. Temperatura de ensaio de 40°C, amplitude de deformação de 2mm.

Charles Lu⁶ e Harris⁷ em seus estudos, concluíram que dois ou mais elastômeros misturados em uma mesma peça, em diferentes fases, podem melhorar o amortecimento.

Neste estudo, fez-se um corpo de prova sobrepondo duas camadas de borrachas distintas: uma camada de composto a base de clorobutil (CIIR) e outra camada com um composto a base de borracha natural (NR), conforme Figura 9.

As borrachas foram vulcanizadas já sobrepostas.

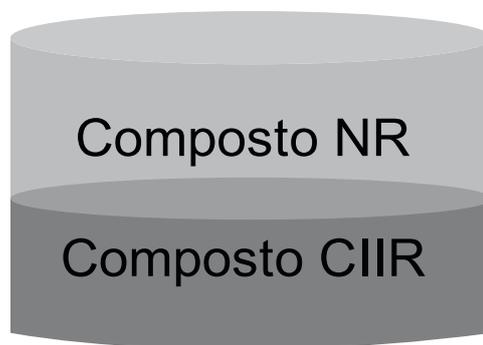


Figura 9. Corpo de prova com duas borrachas sobrepostas (borracha natural e clorobutil).

Na Figura 10 são apresentados os resultados de transmissibilidade para os compostos quando testados individualmente e sobrepostos.

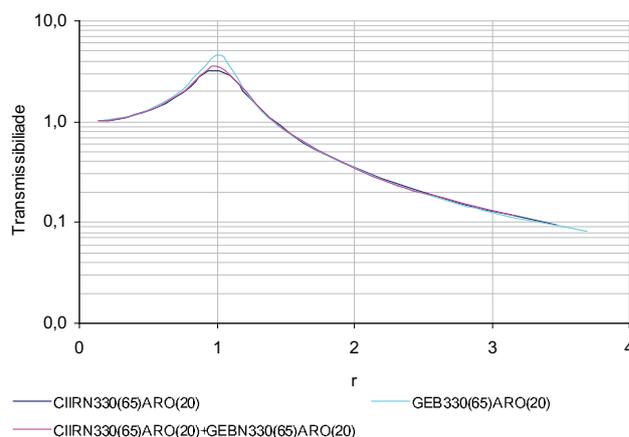


Figura 10. Avaliação comparativa da transmissibilidade para três compostos de borracha. Temperatura de ensaio de 40°C, amplitude de deformação de 2mm.

III. Conclusões

Observou-se uma influência considerável da temperatura na qualidade do isolamento para o composto a base de borracha clorobutil, conforme se observa no gráfico da Figura 4.

De forma contrária, observou-se pouca influência da temperatura de trabalho avaliada no composto a base de borracha natural, conforme gráfico da Figura 5. Interações mais fortes na borracha CIIR, em função do cloro presente na estrutura da cadeia, podem ser as responsáveis por este efeito.

Observou-se uma influência na transmissibilidade quando o corpo-de-prova é submetido a diferentes cargas, conforme evidenciado no gráfico da Figura 7, sendo o composto com menor deformação inicial o que apresentou menor absorção da vibração. Este comportamento acabou influenciando na transmissibilidade do composto na região de ressonância a altas deformações, onde a tandelta do composto foi maior quando comparada ao ensaio em menor deformação (Tabela 2).

A influência da frequência de trabalho na transmissibilidade ou isolamento é apresentada na Figura 8. Quanto maior a frequência maior o isolamento do material. A amostra com o menor tandelta foi também aquela que apresentou menor isolação a baixas frequências. Nos compostos com borracha natural observou-se um aumento significativo da transmissibilidade na região próxima à frequência natural do sistema. Os compostos carregados com negro de fumo N660 apresentaram uma menor eficiência no isolamento da vibração quando comparados aos compostos aditivados com negro de fumo N330. Os compostos aditivados com óleo aromático apresentaram uma melhora no amortecimento, causada pelo aumento no caráter plástico do material.

Na Figura 10 a mistura de duas borrachas com diferentes propriedades de amortecimento resultou em um material com um amortecimento semelhante à borracha clorobutil, considerada uma borracha eficiente no amortecimento de vibrações. O estudo e a compreensão do isolamento da vibração pelos elastômeros requerem uma avaliação das propriedades dinâmicas (componente elástica, viscosa, fator de perda). Para muitos materiais que serão utilizados em aplicações dinâmicas, o simples conhecimento do

elastômero ou das propriedades básicas (tração, dureza, alongamento) pode não ser suficiente para prever o desempenho destes materiais quando em uso. Devem-se avaliar as interações e conseqüências na transmissibilidade que as diferentes variáveis como a composição do material, temperatura e deformação do artefato quando em uso, e acima de tudo, a frequência à que este será submetido.

Vale ainda lembrar que o caminho inverso também pode ser feito para definir a isolação de um material, ou seja: define-se um isolamento desejado (e uma referida transmissibilidade) e, com a frequência de vibração do sistema, a frequência natural do material e o peso do sistema, calcula-se o módulo elástico (k') necessário para o isolamento em questão.

Bibliografia

1. FRANKOVICH, David. The Basics of Vibration Isolation Using Elastomeric Materials.
2. GENT, Alan N. Engineering with Rubber.
3. FERRY, John D. Viscoelastic Properties of Polymers.
4. ASTM D3182-07 Standard Practice for Rubber-Materials, Equipment, and Procedures for Mixing Standard Compounds and Preparing Standard Vulcanized Sheets.
5. ASTM D5289-07a Standard Test Method for Rubber Property Vulcanization Using Rotorless Cure Meters.
6. CHARLES Lu, Y. Effects of viscoelastic properties of engine cover sealing system on noise and vibration attenuation. *Int. Journal Mechanical Des.* (2006) 3:277-284.
7. HARRIS, J. A. Design Principles for Vibration Isolation and Damping with Elastomers Including Nonlinearity. *Rubber Chemistry and Technology*. 1989, vol. 62, no3, pág. 519-528.
8. PAYNE, A. R. Study of Carbon Black Structures in Rubber. *Rubber Chemistry and Technology*, v 38, 1965.
9. KLEEMANN, Werner. WEBER, Kurt. *Elastomer Processing: Formulas and Tables*. Hanser Publishers. 1998.