

AVALIAÇÃO DE LABORATÓRIO DOS PERFIS DE VIBRAÇÃO (ATUAL E PROPOSTO) DA ASTM D4169

Autor: Michael Morrow - Clemson University

Traduzido por: Mauricio Bordin

*Pesquisador da Área de Transporte e Distribuição
do Centro de Tecnologia de Embalagem – CETEA/ITAL*

Este trabalho foi apresentado no Fórum ISTA's 2015 TransPack, em Orlando, Flórida.

Nota do tradutor: quando este trabalho foi realizado e apresentado, a ASTM ainda não havia publicado sua nova versão 2016. Assim, o perfil denominado "atual" é o definido pela ASTM D4169 até 2015, e o perfil denominado "proposto" é o perfil definido pela ASTM D4169:2016.

A norma "Standard Practice for Performance Testing of Shipping Containers and Systems test standard (ASTM D4169)" foi publicada pela primeira vez em 1982. Os perfis de vibração de caminhão especificados faziam referência a dados de vibração de campo coletados mais de uma década antes. As mudanças nos projetos dos veículos, nas condições das estradas e nos equipamentos de gravação de dados de vibração levaram à formação de um subcomitê na ASTM para reavaliar os perfis de vibração de caminhão especificados, resultando em várias modificações na norma. Estudos que avaliaram as técnicas de simulação de vibração propostas foram realizados, mas nenhum dos resultados desses estudos foi divulgado. Este artigo destaca os resultados observados em uma avaliação dos perfis de vibração de caminhão ASTM D4169 atual e proposto quando aplicado a dois produtos distintos: um cortador de grama autopropelido (trator) embalado em uma caixa de madeira e conjuntos elétricos automotivos embalados em bandejas termoformadas. O dano visual nos pneus do cortador de grama e nas bandejas termoformadas foram quantificados e utilizados para avaliar os ensaios de vibração. Os resultados do trabalho em curso demonstram que o atual nível II de vibração para caminhão na ASTM D4169 resulta em mais danos que qualquer um dos perfis propostos e acima dos níveis típicos de danos no campo.

1. Introdução

A norma "Standard Practice for Performance Testing of Shipping Containers and Systems test standard (ASTM D4169)" (ASTM D4169, 2014) especifica perfis de vibração com base nos dados reportados no Relatório Técnico Geral FPL 22 do Laboratório de Produtos Florestais, (Serviço Florestal dos EUA, 1979). Desde que o relatório FPL22 foi publicado, houve muitas mudanças nas condições das estradas e nas distâncias percorridas. O sistema rodoviário na América do Norte está constantemente crescendo. De

acordo com a *American Road and Transportation Builders Association*, a ARTBA, o sistema de transporte nacional aumentou.

Entre 2000 e 2012, os EUA construíram uma média de 13.042 milhas de novas estradas por ano. Isto, juntamente com a ampliação de estradas já existentes, adicionou 31.813 milhas por ano. (*American Road and Transportation Builders Association*, 2015)

A implementação do *National Highway System Act* de 1995 levou à conexão das principais rodovias a 198 portos, 207 aeroportos, 190 terminais rodo-ferroviários, 37 terminais de “ferries”, 58 terminais de dutos e 20 terminais de passageiros multiuso (NHS Act, 1995). Além de haver um aumento significativo de estradas, muitas delas estão atualmente em mau estado, com 20,5% das principais rodovias e conexões precisando ser reparadas e com 24,2% das pontes do país também precisando de reparos (ARTBA, 2015).

O comitê da ASTM D10 sobre Embalagens e Sistemas de Transporte - Aplicação de Métodos de Teste de Desempenho formou um Subcomitê D10.21 para revisar as especificações dos padrões de desempenho usados para avaliar as embalagens e os sistemas de transporte (McKinlay & Anderson, 2011). Recentemente, o comitê D10.21 trabalhou para modernizar as especificações de desempenho de embalagens, incluindo o perfil de vibração. Em fevereiro de 2014, o comitê D10.21 lançou uma proposta para a revisão da D4169 denominada *ASTM D4169 Truck Profile Update Rationale* (Joneson & Anderson, 2014), detalhando a proposta de atualização para o perfil de vibração randômica apresentado na seção 12.4 da ASTM D4169. A atualização proposta foi focada no ciclo de distribuição de caminhão, com perspectivas de incorporar no futuro também os perfis de vibração ferroviário e aéreo.

O perfil de vibração de caminhão proposto para ASTM D4169 baseia-se em dados de vibração de campo de caminhão coletados entre 2012 e 2013 com viagens entre a Pensilvânia e a Califórnia, entre a Carolina do Sul e o Texas, e dados de viagens de outono e primavera na América do Sul (Joneson & Anderson, 2014). O Comitê D10.21 observou que 90% dos dados ocorreu abaixo de 0,40Grms, 95% dos dados ocorreram em ou abaixo de 0,50 Grms e 99% ocorreram em ou abaixo de 0,73 Grms, levando à divisão do espectro em três níveis de vibração, cada um com diferentes durações. A forma do espectro de densidade de potência (PSD) consiste em três picos distintos. Estes picos foram comparados com outros perfis de vibração publicados e se mostraram muito semelhantes ao perfil de caminhão com suspensão em molas de aço da ISTA (Procedimento ISTA 3E, 2008). Este perfil da ISTA tornou-se, então, a base do novo perfil para caminhão da ASTM D4169 (ASTM, 2014). O ensaio proposto foi projetado para funcionar como três loops de 60 minutos. A quebra do ensaio em três ciclos também permitiu a inspeção do sistema produto-embalagem entre os ciclos a fim de isolar o ponto em que o dano ocorre.

Neste estudo, foram executados os perfis de vibração para caminhão da ASTM D4169, atual e proposto. Também foram executadas duas versões modificadas do perfil de vibração para caminhão ASTM D4169 proposto, identificados como: “Modificado 1” e “Modificado 2”. Estas modificações não fazem parte das mudanças propostas da *ASTM D4169 Truck Profile Update Rationale*, mas foram realizadas a fim de explorar diferentes formas de executar os 3 diferentes níveis. A versão “Modificado 1” define a execução dos três perfis como um ciclo por 180 minutos. A versão “Modificado 2” concentra a simulação apenas nos perfis de nível médio e alto, eliminando o perfil de baixo nível. Para avaliação, o perfil de caminhão com suspensão em molas de aço da ISTA foi realizado para ambos 180 minutos e 60 minutos. Os danos resultantes no produto e na embalagem foram quantificados e utilizados para avaliação. Cada um dos seis ensaios de vibração foi realizado em um trator embalado em uma caixa de madeira e em uma pilha de bandejas termoformadas contendo montagens elétricas automotivas.

Devido ao lançamento das alterações propostas à ASTM D4169 serem recentes (foram lançadas há um ano), houve poucos estudos validando as técnicas de simulação de vibração propostas. Os resultados desses estudos não foram divulgados publicamente, tornando este estudo o primeiro a comparar o uso dos métodos propostos em diferentes sistemas de embalagem.

2. Materiais e métodos:

Ensaio de vibração

Cada um dos produtos foi submetido a uma série de seis ensaios de vibração, indicados na Tabela 2.1. A primeira avaliação é entre o ensaio atual usando o perfil para caminhões com Nível II da ASTM D4169, e os perfis de caminhão propostos da *ASTM D4169 Truck Profile Update Rationale*. O perfil ASTM D4169 proposto consiste em três ciclos de 60 minutos, mostrado na Tabela 2.2. Cada ciclo consiste em três níveis de vibração: Baixo, Médio e Alto. O nível médio é o mesmo que o perfil de caminhão com suspensão em molas de aço da ISTA e os níveis baixo e alto são reduzidos e aumentados, respectivamente. A Figura 2.1 ilustra o gráfico PSD de todos os perfis usados no estudo.

Foram introduzidas duas modificações no ensaio de vibração ASTM D4169 proposto para avaliar o efeito de combinar os três “loops” do ensaio em um “loop” mais longo. Essas alternativas foram feitas no intuito de reduzir o número de “loops” necessários no caso do “Modificado 1”, mostrado na Tabela 2.3, e eliminar o “loop” de ensaio de nível baixo para reduzir o tempo total de ensaio no “Modificado 2”, mostrado na Tabela 2.4.

Uma avaliação final foi realizada usando o perfil de caminhão com suspensão em molas de aço da ISTA, que é a base para o método ASTM D4169 proposto. Dois ensaios individuais foram realizados utilizando o perfil de caminhão com suspensão em molas de aço da ISTA por 180 minutos e outro por 60 minutos.

Tabela 2.1. Resumo dos ensaios de vibração.

Ensaio	Perfil de vibração	Duração do Ensaio
1	Perfil para caminhão nível II da ASTM D4169 atual	Duração: 180 minutos
2	Perfil para caminhão proposto para a ASTM D4169	Três ciclos de 60 minutos (40 min. em nível baixo - 15 min em nível médio - 5 min. em nível alto) Duração total: 180 min.
3	Modificado 1 (Perfis baixo - médio - alto combinados)	Um ciclo (120 min. em nível baixo - 45 min. em nível médio - 15 min. em nível alto) Duração total: 180 min.
4	Modificado 2 (Eliminado o perfil baixo - redução de tempo)	Um ciclo (45 min. em nível médio - 15 min. em nível alto) Duração total: 60 min.
5	Perfil de caminhão com suspensão em molas de aço da ISTA	Duração total: 180 min.
6	Perfil de caminhão com suspensão em molas de aço da ISTA	Duração total: 60 min.

Tabela 2.2. Perfil para caminhões da ASTM D4169 proposto.

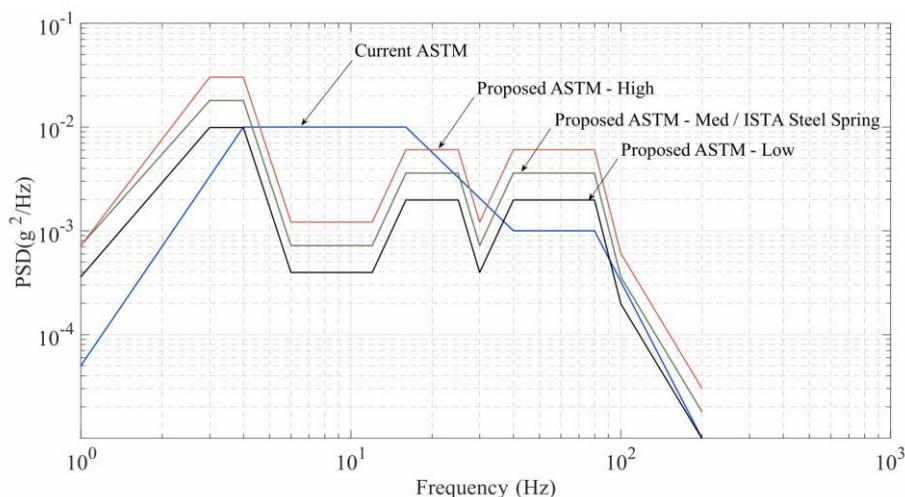
	Sequência de ensaio	Nível de aceleração Global (Grms)	Tempo proposto de ensaio (minutos)
Loop	A (baixo)	0,40	40
	B (médio)	0,54	15
	C (alto)	0,70	5
	Duração total do “loop”		60
	Duração total dos 3 “loops”		180

Tabela 2.3. Modificado 1 - Perfil para caminhões da ASTM D4169 proposto executado em 1 ciclo de 180 minutos.

	Seqüência de ensaio	Nível de aceleração Global (Grms)	Tempo proposto de ensaio (minutos)
Loop	A (baixo)	0,40	120
	B (médio)	0,54	45
	C (alto)	0,70	15
	Duração total do "loop"		180
	1 "loop"		180

Tabela 2.4. Modificado 2 - Perfil para caminhões da ASTM D4169 proposto executado em 1 ciclo de 60 minutos, com apenas os níveis médio e alto.

	Seqüência de ensaio	Nível de aceleração Global (Grms)	Tempo proposto de ensaio (minutos)
Loop	B (médio)	0,54	45
	C (alto)	0,70	15
	Duração total do "loop"		60
	1 "loop"		60

**Figura 1.** Gráfico dos espectros de densidade de potência (PSD) de todos os perfis usados neste estudo.

Produto 1: Cortador de grama (trator) MTD

Um trator MTD foi embalado em uma base de madeira, como mostrado na Figura 2.2. A dimensão aproximada do conjunto base + trator é 70 x 47 x 36 polegadas. O trator foi exposto aos seis testes de vibração indicados na Tabela 2.1 usando uma mesa de vibração hidráulica (*Lansmont Corporation, Monterey, CA*). Foram usadas vigas I de aço debaixo da base para estender a mesa de vibração e acomodar todo o conjunto. Após cada ensaio, a profundidade e a largura do dano dos pneus foram medidas, usando paquímetros digitais. As medições são realizadas no ponto em que o pneu faz contato com a base de madeira, sendo um ponto na região frontal do pneu e dois pontos na região traseira do pneu, como mostrado na Figura 2.3. Quando aplicável, os pontos de dano dos dois pneus dianteiros são calculados em média e os três pontos de dano para ambos os pneus traseiros também são calculados e registrados. Após cada ensaio, os pneus foram girados para permitir que outro ensaio fosse realizado.



FIGURA 2.2. Montagem do cortador de grama (trator) MTD

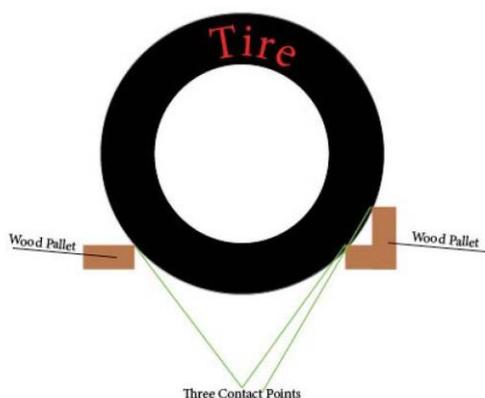


FIGURA 2.3. Pontos de danos/contato

Produto 2: Conjuntos elétricos automotivos embalados em bandejas termoformadas

Os conjuntos elétricos automotivos mostrados na Figura 2.4 foram colocados em bandejas termoformadas intertravadas com dez peças em cada bandeja. As bandejas foram empilhadas com 19 camadas de altura com uma bandeja vazia na parte superior. Duas pilhas são colocadas lado a lado na mesa de vibração hidráulica (*Lansmont Corporation, Monterey CA*), para os ensaios. As pilhas foram separadas com uma chapa de papelão ondulado de parede dupla, conforme mostrado na Figura 2.5, e envolvidas por quatro chapas de papelão ondulado de parede única. Um quinto pedaço de papelão ondulado de parede única é colocado no topo da pilha para conter as unidades e simular o sistema de embalagem utilizado no ambiente de distribuição. Após cada ensaio, as oito bandejas superiores são removidas para inspeção e depois substituídas por bandejas e amostras novas. O dano é avaliado visualmente e é baseado no número de abrasões presentes. As amostras são identificadas por um sistema de números, sendo que o primeiro número indica o ensaio, o segundo número indica em qual das duas pilhas do ensaio de vibração a amostra estava e o último número indica a posição da bandeja na pilha. A posição da bandeja é indicada por 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, sendo a de número 1 a primeira bandeja da parte superior que contém o produto, 2 sendo a segunda bandeja contendo produto e assim por diante. Por exemplo, 2.1.3, indica que as unidades foram submetidas ao ensaio de vibração ASTM D4169 proposto, na pilha 1 e é a terceira bandeja contendo peças na pilha.

**FIGURA 2.4.** Conjunto elétrico automotivo**FIGURA 2.5.** Conjunto de bandejas montadas sobre a mesa de vibração

3 Resultados e discussão

Produto 1: Cortador de grama (trator) MTD

Após cada um dos seis ensaios de vibração, o nível de dano dos pneus foi medido pela profundidade e largura dos cortes no pneu. Foi feita a média dos resultados dos pneus dianteiros e também dos pneus traseiros para cada ensaio, a fim de facilitar a comparação do total de danos observados, os quais são mostrados na Tabela 3.1. As medidas indicadas por 0 mm indicam danos que eram incomensuráveis. É importante notar que não havia três pontos de dados mensuráveis em cada pneu para cada ensaio, pois não havia danos visíveis em todos os casos. Portanto, é importante usar não apenas os dados coletados (medições), mas também as imagens dos danos ao avaliar os seis ensaios de vibração.

A análise dos dados de profundidade coletados para a avaliação do método atual *versus* o proposto indicou que a norma ASTM D4169 produziu os maiores níveis de dano com uma média de 3,0 mm. A frente do trator era a extremidade mais pesada e, portanto, o dano tendia a ser pior nos pneus dianteiros do que os pneus traseiros. Ocorreram muito pequenos danos nos pneus traseiros. De acordo com o fabricante do produto, o dano observado neste teste de vibração excedeu em muito os níveis típicos de danos no campo.

O dano produzido com o perfil proposto da ASTM D4169 produziu menores níveis de dano do que o perfil atual, 1,7 mm. Uma inspeção visual do dano do pneu, indicado na Figura 3.1, confirma que o dano foi muito mais severo para o perfil atual. Entre os dois testes modificados, o ensaio de vibração “Modificado 1” produziu o dano mais alto, mostrado na Figura 3.3, com 3,8 mm nos pneus dianteiros e 1,8mm na parte traseira. O “Modificado 2” produziu 1,0 mm de dano nos pneus dianteiros, mostrado na Figura 3.4, e produziu somente abrasões menores nos pneus traseiros, com 0,5 mm de profundidade. Os dois últimos ensaios foram o perfil de caminhão com suspensão em molas de aço da ISTA, 0,54 Grms, por um período de 60 minutos e 180 minutos. Esses ensaios produziram danos similares em profundidade e largura.

TABELA 3.1. Resultados de profundidade de dano para o trator MTD.

	Profundidade do dano no pneu	
	Dianteiro Média	Traseiro Média
ASTM D4169 atual	3,0	0,0
ASTM D4169 proposto	1,7	0,0
Modificado 1	3,8	1,8
Modificado 2	1,0	0,5
ISTA 180 min	1,3	0,7
ISTA 60 min	1,2	1,5



FIGURA 3.1. ASTM atual, nível II - 0,52Grms - Dano no pneu.



FIGURA 3.2. ASTM proposto - Dano no pneu.

Pneu dianteiro esquerdo



Pneu dianteiro direito



FIGURA 3.3. Modificado 1 - Dano no pneu.

Pneu dianteiro esquerdo



Pneu dianteiro direito



FIGURA 3.4. Modificado 2 - Dano no pneu.

Pneu dianteiro esquerdo



Pneu dianteiro direito



Pneu traseiro esquerdo



Pneu traseiro direito

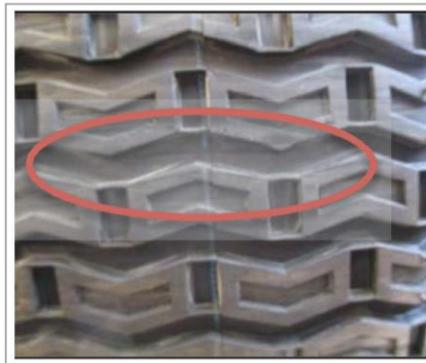


FIGURA 3.5. ISTA 180 min. - Dano no pneu.

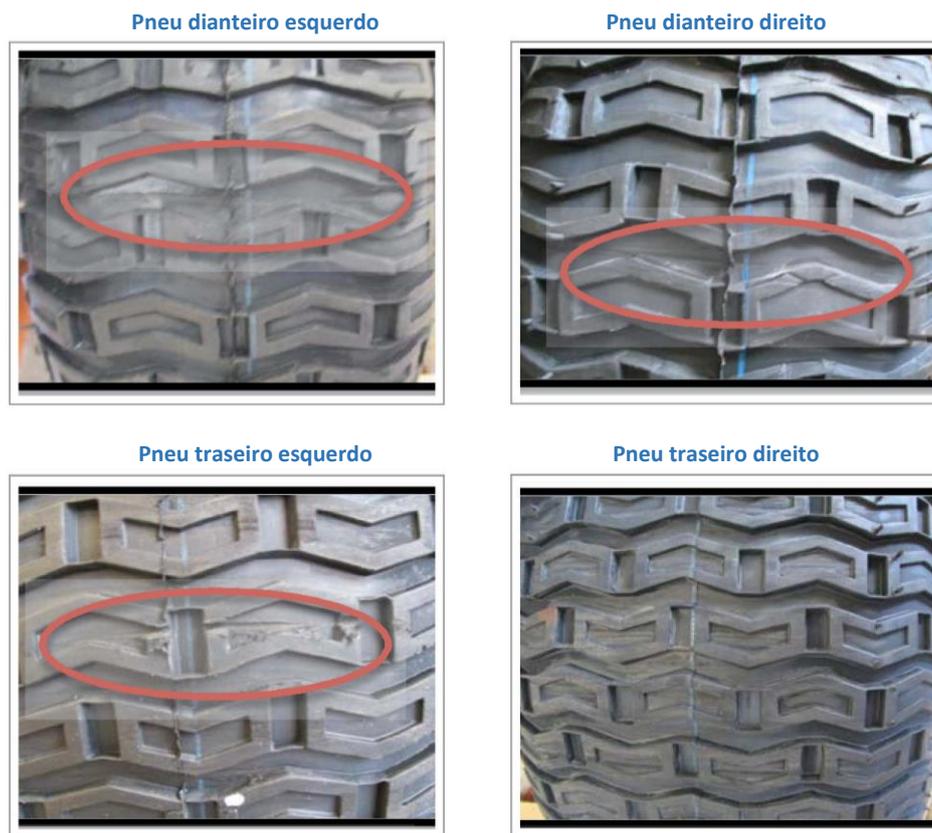


FIGURA 3.6. ISTA 60 min. - Dano no pneu.

Produto 2: Conjuntos elétricos automotivos, embalados em bandejas termoformadas

Após cada um dos ensaios de vibração, o nível de danos em cada bandeja foi avaliado com base no número de arranhões e abrasões. Os níveis de dano variaram de abrasões entre os pontos de intertravamento entre as bandejas, desgaste nas bandejas criadas pelo movimento das peças dentro delas e desgaste entre as bandejas e o papelão ondulado que circundava as colunas.

O perfil de vibração atual produziu danos em mais de vinte locais nas bandejas na primeira pilha. O nível mais alto de danos ocorreu nas bandejas 1.1.3 -1.1.6, mostrados nas Figuras 3.7 a 3.9, nos pontos de intertravamento das bandejas. Resultados muito semelhantes foram vistos para o perfil proposto. Além disso, o perfil atual sofreu danos por contato com o ondulado, mostrado na Figura 3.10, sendo que este dano não foi observado em nenhum outro teste. Os outros cinco ensaios também produziram cerca de vinte pontos de danos com menor intensidade, nos pontos de intertravamento das bandejas, com a maior parte dos danos ocorrendo nas bandejas três a seis. Os arranhões e abrasões vistos nestes cinco ensaios não foram tão severos quanto os vistos com o perfil de vibração atual.

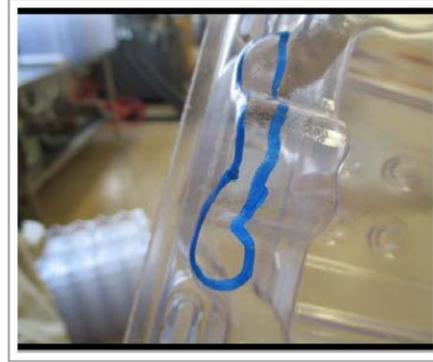


FIGURA 3.7. Exemplo de Dano 1.1.3.

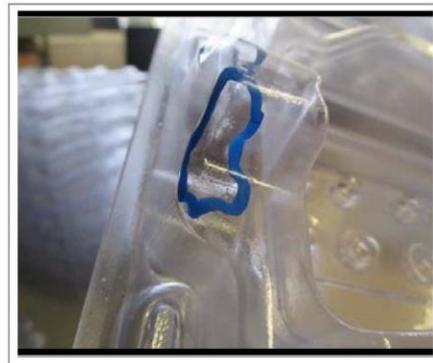
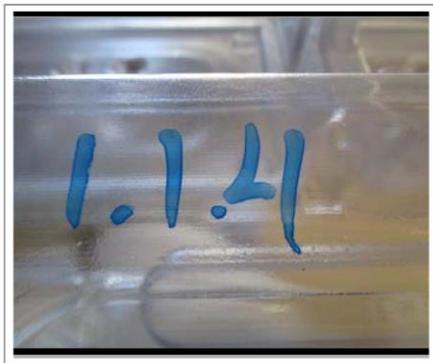


FIGURA 3.8. Exemplo de Dano 1.1.4.



FIGURA 3.9. Exemplo de Dano 1.1.5.



FIGURA 3.10. Pó do papelão ondulado no ensaio com perfil atual.

4. Observações:

Ao avaliar vários tipos de produtos, é evidente que a duração do ensaio e a intensidade do perfil de vibração afetam os níveis de danos produzidos em certos produtos. Também é notório que, para outros tipos de produtos, o nível de intensidade e duração do perfil de vibração não resulta em níveis de dano significativamente diferentes. O trator e os conjuntos elétricos automotivos representam exemplos de cada um desses casos. O ensaio de ambos os produtos revelou que o atual perfil de vibração do caminhão da ASTM produziu níveis de danos em excesso do que normalmente é realizado no campo. O dano resultante dos outros perfis de vibração propostos e modificados variou em nível, dependendo do produto, o que dificulta conclusões gerais.

Produto 1: Trator MTD

O dano resultante do perfil de vibração para caminhão ASTM atual excede os níveis de danos observados no campo. Os níveis de danos vistos com o ensaio do perfil proposto e com o perfil de caminhão com suspensão em molas de aço da ISTA foram mais parecidos com aqueles vistos em campo. Aumentar a duração da execução de cada um dos perfis propostos da ASTM e realizar apenas um ciclo, Modificado 1, produz níveis de dano mais altos em comparação com três ciclos mais curtos para este produto específico. Remover o perfil de vibração de nível mais baixo, Modificado 2, produz níveis de danos semelhantes aos típicos no campo e resulta em um tempo de ensaio reduzido para este produto específico.

Produto 2: Conjuntos elétricos automotivos, embalados em bandejas termoformadas

Os níveis de danos produzidos com o atual perfil de vibração ASTM foram os mais altos dos seis ensaios e produziram danos não observados em campo. Os outros cinco ensaios realizados produziram um nível similar de danos, independentemente do ensaio, para este produto em particular. O dano observado em todos os casos foi notavelmente maior do que os níveis observados em campo.

Agradecimentos:

- MTD Products - Mike Menke
- Marshall Associates - Tara Griffin
- Sears Holdings Corporation
- TE Automotive Group - Ralph Bentley
- Clemson University Graduate Students – Sam McGee and Drew Barry

Referências

ASTM INTERNATIONAL. **ASTM D4169-14**: standard practice for performance testing of shipping containers and systems. West Conshohocken, 2014. 17 p.

BENNETT, N. The national highway system designation act of 1995. **Public Road**, v. 59, n. 4, 1996. Disponível em: <<http://www.fhwa.dot.gov/publications/publicroads/96spring/p96sp10.cfm>>.

INTERNATIONAL SAFE TRANSIT ASSOCIATION. **Procedures 3A(2008), 3B (2013), 3E (2009), 3H (2011)**. East Lansing, MI. Disponível em: <<https://www.ista.org/pages/procedures/ista-procedures.php>>.

JONSON, E.; ANDERSON, L. **Updating ASTM 4169 vibration profiles**. TransPack Forum. Lecture conducted from ISTA, 2014.

OSTREM, F. E.; GODSHALL, W. D. **An assessment of the common carrier shipping environment**. Madison, WI: Forest Products Laboratory, 1979. 60 p. (General Technical Report, FPL 22). Disponível em: <<https://www.fpl.fs.fed.us/documnts/fplgtr/fplgtr22.pdf>>.

TRANSPORTATION facts. (2015, January 1). Retrieved March 25, 2015, from <http://www.artba.org/about/transportation-faqs/#9> National Highway System Designation Act Of 1995 (1995), Public Law 104-59. 104th Congress. McKinlay, A. & Anderson, L.(2011, October 31). History of D4169. D10 Workshop. Lecture conducted from ASTM.