

Ensaios para embalagens de transporte: atualização da ASTM D4169

Tiago Bassani Hellmeister Dantas
Pesquisador do Cetea

Um dos principais procedimentos de ensaio voltados para a avaliação de desempenho de embalagens para transporte e distribuição, a ASTM D4169 — “*Standard practice for performance testing of shipping containers and systems*” foi atualizada recentemente, no final de 2023. A ASTM D4169 abrange ensaios que simulam os principais parâmetros presentes nos meios reais de distribuição. O principal objetivo do procedimento é minimizar a probabilidade de danos nas etapas de transporte e distribuição de um produto. Ou, como descrito no próprio procedimento, “prover uma base uniforme, em laboratório, para avaliar a capacidade de unidades de transporte a suportar o ambiente de distribuição”. Embora, na maioria das vezes, não seja um procedimento compulsório para aprovação de embalagens, seu uso permite ao fabricante ou usuário da embalagem avaliar a adequação do conjunto, evitando ou minimizando problemas no transporte.

A ASTM D4169 estabelece diversas sequências de ensaio, descritas como “*distribution cycles*” ou ciclos de distribuição, geralmente selecionados com base nas informações referentes à forma de distribuição do produto. Atualmente, o procedimento oferece 18 ciclos estabelecidos, mas também é possível que o usuário crie um ciclo personalizado, de acordo com as etapas de distribuição do produto em questão. Além de um ciclo genérico, a ser utilizado quando não há informações definidas sobre o sistema de distribuição real (DC-1), citamos aqui alguns exemplos de ciclos sugeridos no procedimento: DC-3 — embalagem unitária sem palete ou “*skid*”, transporte rodoviário em carga mista (*less-than-truckload* — LTL); DC-6 — transporte rodoviário, carga cheia ou mista, carga unitizada; D-13 — transporte aéreo (entre cidades) e rodoviário (local), embalagens até 68,1 kg.

Os ensaios que constam nestes ciclos de distribuição são chamados de “*schedule*”. Assim, o procedimento descreve 10 “*schedules*”, identificados de A a J. São eles:

- “Schedule A” — ensaios de impacto, simulando manuseio (manual e mecânico);
- “Schedule B” — ensaios de compressão, simulando empilhamento no armazenamento;
- “Schedule C” — ensaios de compressão, simulando empilhamento no transporte;
- “Schedule D” — ensaios de vibração randômica com empilhamento;
- “Schedule E” — ensaios de vibração randômica sem empilhamento;
- “Schedule F” — ensaios de vibração senoidal;
- “Schedule G” — ensaios de impacto, simulando engate de vagão;
- “Schedule H” — variações de condicionamento;
- “Schedule “I” — ensaio de baixa pressão (altitude);
- “Schedule “J” — ensaio de impacto concentrado.

Para a maioria dos ensaios, o procedimento estabelece três níveis de severidade (*assurance level*), relacionado à intensidade dos testes conforme a probabilidade de ocorrência em um típico ciclo de distribuição para a amostra em questão. Esses níveis são identificados de I a III, sendo o nível I o mais severo.

Os parâmetros de ensaio são determinados conforme as características da amostra, isto é, o conjunto produto-embalagem, ou definidos pelo usuário, com base em informações do ambiente de distribuição ou de experiências anteriores. Por exemplo, a altura de queda para os ensaios de impacto por queda livre da sequência “Schedule A” é determinada em função do peso bruto da amostra; quanto maior o peso, menor a altura de queda. Uma amostra de 2 kg será ensaiada a uma altura de queda de 381 mm, no nível de severidade II; já uma amostra de 40 kg será submetida a quedas de 229 mm. Já para um ensaio de vibração randômica com perfil rodoviário, o tempo de ensaio é definido pelo usuário. O procedimento sugere ensaios na faixa de 30 minutos a 6 horas. Em função das dimensões do Brasil, costumamos recomendar o tempo máximo sugerido no procedimento. Porém, alguns dos usuários, com base em experiências anteriores, tanto em laboratório quanto em campo, possuem sequências próprias, envolvendo diferentes perfis de vibração descritos no procedimento, simulando transportes rodoviário, aéreo e/ou ferroviário, e diferentes tempos de ensaio, conforme as condições de transporte do conjunto produto-embalagem a ser avaliado.

Atualizações na ASTM D4169

As atualizações no referido procedimento envolvem as seções 3, 11 e 12. Na seção 3, subseção 3.2.7, foi introduzida a definição de embalagens pequenas e leves (*small and lightweight package*), estabelecendo os parâmetros para enquadramento da amostra nesta classificação, que se aplica a conjuntos de até 4,53 kg (10 lb) e volume inferior a 0,056 m³ (2 pés³). Essa classificação tem por objetivo adequar os ensaios direcionados a este tipo de embalagem, que anteriormente poderiam ser muito severos, considerando-se tais características. Desta forma, é possível otimizar o material de embalagem utilizado para embalagens pequenas e leves.

Na seção 11, que descreve o ensaio de compressão e seus parâmetros, houve alterações nas subseções 11.2 e 11.4.1. A subseção 11.2 estabelece os fatores de segurança utilizados nos ensaios de compressão (“Schedule B” e “Schedule C”), para cada nível de severidade (I, II e III). Tais fatores são definidos em função do nível de severidade determinado e das formas de construção da embalagem. São elas:

- Tipo 1) embalagem de papelão ondulado ou plástico que pode ou não conter acessórios internos com os mesmos materiais e na qual o produto não contribui na resistência ao empilhamento;
- Tipo 2) embalagem de papelão ondulado ou plástico que contém acessórios internos que contribuam na resistência ao empilhamento e que não sejam sensíveis à temperatura e umidade;
- Tipo 3) embalagens feitas de materiais diferentes de papelão ondulado e plástico que não sejam sensíveis à temperatura e umidade, ou aquelas em que o produto suporta diretamente a carga de empilhamento.

Essa classificação e a tabela para seleção do fator de segurança se mantêm as mesmas; apenas um complemento foi feito na seção 11.2, a qual instrui que a amostra seja classificada como Tipo 1 quando a forma de construção da embalagem for desconhecida. Já a subseção 11.4.1 apresentou uma modificação mais significativa. A seção 11.4 estabelece a seguinte equação para o cálculo da carga de compressão a ser utilizado no “Schedule C” ou no “Schedule D”, considerando-se empilhamento de cargas mistas transportadas no formato “less-than-truckload” ou no caso de embalagens pequenas:

$$\text{Carga de compressão} = M_f \cdot c \cdot l \cdot a \cdot \left(\frac{H - a}{a} \right) \cdot F$$

onde:

M_f = fator de densidade de carga no transporte [kg/m³];

c, l, a = comprimento, largura e altura da embalagem de transporte [m];

H = altura máxima de empilhamento no transporte [m]; se essa altura for desconhecida, considera-se uma altura de 2,7 m (ou 1,4 m para embalagens pequenas e leves);

F = fator de segurança.

Assim, a subseção 11.4.1 detalha a questão do fator de densidade de carga. Anteriormente, este fator era fixo em 160 kg/m^3 . Com a atualização, a ASTM D4169 apresenta uma faixa de densidade, que vai de 160 kg/m^3 (o que representa o 40º percentil de cargas empilhadas medidas no transporte) a 481 kg/m^3 (95º percentil). Quando não há informações sobre a densidade média de carga no transporte real, recomenda-se utilizar o valor de $192,2 \text{ kg/cm}^3$.

Essa alteração no fator de densidade de carga também tem impacto na seção 12, particularmente no “Schedule D”, que trata do ensaio de vibração com carga. Neste ensaio, coloca-se uma carga (peso morto) sobre a embalagem, sendo esse conjunto submetido ao ensaio de vibração, simulando um transporte com empilhamento.

Um exemplo de como essa alteração influencia as cargas de compressão. Considerando-se uma caixa com dimensões de $600 \text{ mm} \times 300 \text{ mm} \times 600 \text{ mm}$ (comprimento x largura x altura) transportada no sistema “less-than-truckload”, para o ensaio de compressão (“Schedule C”, item 11.4, fator de segurança 7,0, altura de empilhamento igual a 2,7 m) teríamos uma carga de ensaio de 424 kgf para o fator de densidade de carga de 160 kgf/cm^3 ; para o novo fator recomendado ($192,2 \text{ kgf/cm}^3$) a carga de ensaio passaria a ser de 509 kgf/cm^3 , ou seja, o ensaio seria mais rigoroso, exigindo maior resistência da amostra. O mesmo acontece no caso do ensaio de vibração com carga; para a recomendação anterior, a amostra seria submetida ao ensaio de vibração (neste caso, $F = 1$) com uma carga de 61 kgf, e para a nova recomendação, 73 kgf.

Essas alterações refletem o trabalho contínuo da ASTM na melhoria dos procedimentos de ensaio utilizados na avaliação de desempenho de embalagens, de forma a minimizar problemas no transporte, tanto para fabricantes como para usuários de embalagens, garantindo segurança e qualidade nas etapas de distribuição de mercadorias.

Referência Bibliográfica

ASTM INTERNATIONAL. **D 4169-23e1**: standard practice for performance testing of shipping containers and systems. West Conshohocken, 2024. 20 p.

Como é calculada a carga de compressão?

A carga calculada utilizando-se a equação descrita na seção 11.4 da ASTM D4169 funciona da seguinte forma: supondo-se a condição mais crítica no empilhamento, ou seja, a caixa da base, considera-se o volume imaginário sobre a caixa a ser ensaiada, como mostrado na figura; esse volume é obtido pela seguinte parte da equação:

$$c \cdot l \cdot a \cdot \left(\frac{H - a}{a} \right)$$

A multiplicação desse volume imaginário pelo fator de segurança F e pelo fator de densidade de carga M_f resulta na carga do ensaio de compressão.

