

A TECNOLOGIA DA AVALIAÇÃO DE EMBALAGENS PARA TRANSPORTE

Tiago B. H. Dantas

A avaliação de embalagens para transporte pode geralmente ser categorizada em três tipos: ensaios de integridade, simulação generalizada e simulação focalizada. Enquanto os ensaios de integridade atenderam razoavelmente bem, por muitos anos, às necessidades dos Estados Unidos, requerimentos cada vez mais estritos em função da globalização, da competição internacional e da distribuição, e das condições de transporte extremamente variáveis, exigem uma avaliação mais completa. Este artigo discutirá os ensaios de integridade, o conceito e o aumento na eficácia da simulação generalizada, e então a capacidade adicional da simulação focalizada, considerando-se as grandes diferenças encontradas nas condições mundiais de transporte.

ENSAIOS PRÉVIOS AO TRANSPORTE

Os benefícios dos ensaios prévios de performance em embalagens para transporte são bem conhecidos e comprovados. Diz-se que o maior passo que um fabricante ou transportador pode dar a fim de assegurar tais benefícios é a realização de um programa de ensaios prévios - qualquer programa - onde antes não havia programa algum. Orientações publicadas pela Associação Internacional de Transporte Seguro (International Safe Transit Association - ISTA) afirmam que: "Mesmo um simples ensaio em laboratório, utilizado de maneira inteligente, é preferível a tentativa e erro...". Mas uma vez que se tenha decidido pela realização dos ensaios prévios, levanta-se a questão sobre qual protocolo de ensaios é o mais eficiente e eficaz para uma dada situação.

A ISTA estabelece seus protocolos de ensaio em três categorias primárias: ensaios de integridade, que avaliam a resistência e a robustez do conjunto produto-embalagem, sem necessariamente reproduzir as situações reais que ocorrem durante o transporte; simulação generalizada, designada a modelar, de forma mais ampla, as forças e condições que causam danos nas situações de transporte; e a simulação focalizada, que estabelece ensaios de laboratório, intensidade e condições com base em medições reais em campo.

Ensaio de Integridade

Os ensaios de integridade são os mais simples e de menor custo na avaliação prévia de performance de embalagens. Na sua forma mais básica, tipicamente são exigidos somente ensaios de queda e vibração com amplitude fixa, utilizando-se equipamentos similares aos mostrados na Figura 1, ambos disponíveis no CETEA. Alguns protocolos incluem o ensaio de compressão, que pode ser realizado com simples cargas estáticas. Exceto o peso total, não são consideradas outras características do produto ou da embalagem, como construção, valor, quantidades a serem transportadas, etc. Os

mesmos protocolos são utilizados independentemente dos tipos de transporte e meios de distribuição. Os ensaios são conduzidos em condição ambiente de laboratório e o pré-condicionamento das amostras geralmente não é requerido. Os níveis dos ensaios não se correlacionam às ocorrências reais: por exemplo, somente uma altura de queda (consideravelmente alta) é especificada para cada faixa de peso, embora saiba-se bem que na distribuição típica há relativamente muitas quedas de alturas baixas e poucas de alta; o ensaio de "vibração" (na verdade, choques repetitivos de baixo nível) não simula o movimento real de veículos e é conduzido em função de um tempo arbitrário ou do número de impactos. Exemplos destes ensaios são descritos na série 1 de protocolos da ISTA.



FIGURA 1. Equipamentos de queda e vibração disponíveis no CETEA.

Simulação Generalizada

A simulação generalizada consiste em uma tentativa de modelar em laboratório os elementos que produzem danos envolvidos nas etapas de transporte e distribuição, utilizando representações amplas de seqüências, intensidade e outras condições. Os níveis dos ensaios e outros parâmetros são descritos nos protocolos de ensaio, correspondendo a generalizações obtidas de diversas compilações, acordos entre indústrias, cálculos e "bom senso convencional". Os requisitos tipicamente incluem alturas de queda variáveis, tipos de impactos adicionais, compressão baseada em cargas máximas e alturas de empilhamento, vibrações randômicas de perfil simples, que simulam de forma ampla o movimento real de veículos, condicionamento atmosférico e riscos combinados, como compressão e vibração simultâneas. Os ensaios são até certo ponto adaptados, com base no tipo e construção da embalagem, e com alguma consideração quanto ao valor do produto e quantidade de transporte. Diferentes meios de transporte são levados em consideração (incluindo situações modais), e se faz uma tentativa generalizada de se colocar os ensaios em uma seqüência similar à esperada durante a distribuição real.

Comparada aos ensaios de integridade, a simulação generalizada tipicamente requer investimentos constantes em equipamentos e infra-estrutura de laboratório. São necessários mais sistemas de ensaios, e sua complexidade e sofisticação são maiores. Uma vez que há mais variáveis a serem consideradas, a configuração do plano de ensaios tipicamente requer maior entendimento e planejamento. Além disso, os ensaios de simulação generalizada são mais extensos, trabalhosos e demandam maior tempo. Exemplos de ensaios de simulação generalizada são: procedimento D 4169 da ASTM - American Society for Testing and Materials e a norma 4180 da ISO - International Organization for Standardization (embora esta última não contemple a vibração randômica).

Simulação Focalizada

A simulação focalizada é a avaliação mais poderosa presentemente disponível para ensaios prévios de performance de embalagem para transporte. É também a mais exigente em termos de conhecimento prévio, preparação dos ensaios, equipamentos e infra-estrutura, e tempo/complexidade de ensaio. Os níveis de ensaio e outros parâmetros não estão contidos nos protocolos de teste; de fato, não há protocolos por si, somente guias e recomendações sobre como elaborá-los.

Em sua forma mais completa, a simulação focalizada se inicia com o desenvolvimento de um conhecimento detalhado sobre os meios e modos de distribuição para um determinado conjunto produto-embalagem ou uma linha de produtos: os riscos em planta, as operações de manuseio e classificação, os veículos de transporte e suas cargas, o armazém e outras situações de empilhamento, perfis e extremos atmosféricos, etc. Estas informações são então organizadas em uma "descrição de distribuição" específica, delineando os potenciais riscos de danos juntamente com a seqüência e as combinações em que estes ocorrem.

O próximo passo é quantificar, através de medições em campo, os riscos envolvidos na distribuição do conjunto produto-embalagem em termos de intensidade e outras condições. Por exemplo, quedas e impactos são medidos, e os dados são analisados quanto à altura de queda ou velocidade de impacto, orientação da embalagem no impacto e frequência da ocorrência. As vibrações nos veículos são medidas, os dados são tipicamente analisados através de gráficos de densidade espectral de potência (Power Spectral Density - PSD), de acordo com os tipos de veículos, condições de carregamento e tempo de transporte. A compressão é medida em veículos e áreas de estocagem, sendo os dados analisados em relação ao tempo e condições de sobreposição. São obtidos perfis atmosféricos, sendo os dados analisados em termos de extremos, taxas de alteração e combinações. Estas medições são viáveis devido à atual disponibilidade de gravadores de dados de campo eletrônicos, independentes e muito compactos (vide Figura 2). Estes instrumentos, muitas vezes menores que um tijolo, são capazes de gravar tanto informações estáticas quanto dinâmicas, de forma a facilitar as análises requeridas.



FIGURA 2. Exemplos de gravadores de dados em campo.

Finalmente, estas informações são transformadas em um protocolo de testes em laboratório específico para o conjunto produto-embalagem e seus meios de distribuição considerados. Os dados devem ser analisados estatisticamente e os ensaios, baseados no uso eficiente dos resultados. Caso haja variações na embalagem, no produto ou no sistema, deve-se decidir como incorporá-las ao protocolo ou se é necessário um protocolo separado.

Ao observador casual pode parecer difícil distinguir uma simulação focalizada de uma simulação generalizada compreensiva sendo executada em laboratório. Mas a diferença está nos detalhes: as alturas e velocidades, de queda e impacto, as orientações e a quantidade de impactos serão diferentes; os perfis de vibração e o tempo de execução, as cargas e tempo de compressão, as condições de sobreposição e outros parâmetros serão diferentes. Uma boa simulação cobre todos os riscos para uma classe ou tipo particular de produto-embalagem, e meios e modos particulares de distribuição.

APLICANDO OS TIPOS DE ENSAIOS

Os tipos de ensaios - integridade, simulação generalizada, simulação focalizada - formam uma hierarquia de custo/complexidade e efetividade. Pouco se questiona quanto ao fato de que ensaios de nível mais alto levam a avaliações mais exatas em relação à capacidade de um conjunto produto-embalagem em suportar as condições de transporte e distribuição. Porém, isso não significa que todas as situações exijam ou justifiquem o uso de protocolos de maiores custos e mais sofisticados. Vários fatores devem ser considerados: a fragilidade do produto, valor e quantidade de transporte; custos de embalagem e impacto ambiental; custo de danos, diretos e indiretos; alcance e complexidade da distribuição; questões mercadológicas como tempo de entrega, satisfação do consumidor e competitividade; exposição das responsabilidades; requerimentos regulatórios, etc. A seleção apropriada do protocolo leva ao equilíbrio ótimo de todos estes fatores para a particular situação.

Aplicações e Atributos dos Ensaios de Integridade

As normas de embalagens de muitas organizações incluem protocolos que podem ser classificados como ensaios de integridade. Algumas das maiores empresas mundiais de transporte incluem ensaios de integridade em suas recomendações e requerimentos básicos. E a ISTA estima que seus ensaios de integridade mais simples (ISTA 1A e 1B) tenham sido realizados mais de quinhentas mil vezes. Portanto, não há dúvida de que avaliações básicas são utilizadas de forma ampla e com sucesso.

Conforme mencionado anteriormente, para organizações em que ensaios prévios não são utilizados, a instituição de um programa de ensaios de integridade é um enorme passo à frente. Praticamente qualquer teste é melhor que nenhum, e pode servir para evidenciar pelo menos os problemas básicos de produto e da embalagem. Em casos em que a fragilidade do produto não é particularmente uma questão relevante, os ensaios de integridade podem ser muito úteis na avaliação do desempenho de embalagem - sua capacidade de resistir aos abusos e continuar adequadamente a conter e identificar o produto.

Quando simples ensaios de integridade funcionam, levando ao desenho de embalagem que é capaz de proteger o produto em transportes de larga escala, provavelmente se falha na questão de superproteção e desempenho além do necessário. A resposta lógica à falta de informação ou considerações a respeito das condições reais de campo é a determinação de ensaios severos. Talvez a idéia seja de que a utilização de apenas alguns ensaios severos possa compensar o conjunto de ensaios omitidos. Apesar disso, se as amostras passam por estes ensaios severos, elas provavelmente apresentam resistência acima do necessário, pelo menos em relação aos ensaios realizados.

Quando os simples ensaios de integridade não funcionam, provavelmente isso ocorre pelo fato do dano ser causado por um risco não incluso nos ensaios. Se o dano é causado por compressão durante a estocagem mas não há ensaio de compressão no protocolo, ou por alta umidade, quando todos os ensaios são conduzidos em condição ambiente, a simplicidade do protocolo resulta em falha. As amostras apresentam bons resultados frente aos ensaios, mas seu desempenho em campo é insatisfatório - um claro sinal de que os ensaios são de alguma forma impróprios para aquela situação. Estes atributos fazem dos ensaios de integridade uma ferramenta pobre na otimização de custos de embalagem, desempenho e impactos ambientais no mercado global. O típico objetivo de um processo de desenvolvimento de embalagem, utilizando-se ensaios prévios, é obviamente passar nos testes laboratoriais, mas se os ensaios não se equiparam aos riscos, níveis e condições em campo, então os desenhos não são otimizados. Mesmo se a embalagem é iterativamente redesenhada de forma a passar nos testes com uma margem mínima, o fato dos níveis serem relativamente severos ainda leva a um excesso de embalagem inaceitável. Isso, por exemplo, não atende aos requisitos da EN13428 da Diretiva Européia de Embalagem, que requer uma demonstração de que "a quantidade mínima adequada de peso e/ou volume de embalagem acabada tenha sido atingida...". O mínimo para se passar nos testes deve ser consideravelmente maior que o mínimo requerido para assegurar um desempenho adequado. Por outro lado, se um risco crítico é omitido do protocolo, podem ocorrer danos em campo mesmo que os resultados dos ensaios tenham sido positivos.

Utilização e Correlação da Simulação Generalizada

Os protocolos de simulação generalizada são opções utilizadas por muitas empresas. Quando os valores dos produtos e as quantidades de transporte (ou ambas) são considerados de moderados a altos, os benefícios econômicos e ambientais a serem obtidos a partir de um programa de ensaios prévios mais completo podem ser prontamente justificados. Se a fragilidade do produto é um problema, a simulação generalizada pode muitas vezes revelar danos "ocultos" que podem ocorrer na distribuição real.

Simulações generalizadas tipicamente requerem que o usuário seja apto a identificar, pelo menos de uma forma geral, as características do sistema de distribuição-alvo. Deve poder descrever os tipos de transporte, veículos, canais de distribuição, tipo de embalagem, ou algo que permita a determinação dos riscos e uma seqüência aproximada. Por exemplo, se o transporte será do tipo "embalagens individuais transportadas em pequenas quantidades", um plano geral de ensaios contemplando ensaios de manuseio (representando a retirada do produto da empresa), vibração (transporte ao centro de distribuição), impactos (operações de classificação), vibração com empilhamento (transportes de longa distância) e manuseio (entrega), podem ser indicados. Em alguns casos, isto é similar ao primeiro passo da simulação focalizada, exceto quando não seja necessária a observação em campo, uma vez que o próprio protocolo contenha diretrizes ou uma lista para escolha (embora a observação seja muitas vezes encorajada e recomendada).

A intensidade dos ensaios é baseada em algumas estimativas quanto ao valor do produto, quantidades para transporte, riscos extremos ou combinações. Usualmente há apenas dois a quatro diferentes níveis de intensidade, sem pouca ou nenhuma possibilidade para situações intermediárias ou especiais.

A simulação generalizada obviamente apresenta resultados satisfatórios quando há uma boa proximidade entre os ensaios laboratoriais selecionados, seqüência e intensidade, e as condições reais de transporte e distribuição. Se há uma boa correlação, as simulações generalizadas podem resultar em desenhos otimizados, até mesmo de acordo com a EN13428 da Diretiva Européia de Embalagem, assumindo que as embalagens tenham atendido aos ensaios com um margem mínima.

Entretanto, podem haver problemas quando não há uma boa correlação. Se durante o transporte real houver uma ocorrência que não esteja incluída nos ensaios de laboratório, pode ocorrer um dano imprevisto. Ou se um risco é incluído nos ensaios mas este não ocorre em campo, pode-se ter excessos na embalagem. Ensaos com intensidade menor que o real levam a danos excessivos. E a dificuldade é que o responsável pelo transporte e/ou pelos ensaios não têm necessariamente o conhecimento se a correlação é boa ou ruim. Certamente, se há ocorrência de dano no transporte, conclui-se que um dos riscos não está incluído nos ensaios, a intensidade destes está muito baixa ou a seqüência está incorreta. Mas se não há danos, a quantidade ou extensão de excesso de embalagem possivelmente permanecerá desconhecida.

Simulação Focalizada para Exatidão e Resultados Melhores

A simulação focalizada, quando apropriadamente pesquisada e implementada, oferece a possibilidade de se elaborar protocolos de ensaios laboratoriais com correlações quase perfeitas em relação ao ambiente real de transporte e distribuição, sendo que, em sua forma completa, é muito apropriada para situações com produtos de alto valor.

Ao se elaborar a "descrição da distribuição" é importante que todas as rotas, modos, configurações de embalagem e condições sejam apropriadamente identificados. Mas o que acontece muitas vezes é que, mesmo para sistemas de distribuição aparentemente simples, há um significativo número de variações. Deve-se ter cuidado para não haver uma super-simplificação ao se assumir que uma variável é similar ou encoberta por outra. Algumas vezes devem ser realizadas medidas de forma a assegurar que um conjunto particular de riscos pode ser seguramente ignorado.

Deve-se obter dados de campo suficientes, de forma a permitir uma análise válida e com alta confiança estatística dos resultados. O número exato de viagens, medidas ou gravações necessárias depende de muitos fatores. Recomenda-se que um profissional da área estatística esteja envolvido tanto no desenho do experimento (obtenção dos dados de campo) quanto na análise dos resultados. O Método de Taguchi tem se mostrado eficiente nas aplicações em embalagem e logística.

Na configuração dos ensaios de simulação focalizada, podem ser necessários alguns ajustes de ordem prática. Por exemplo, pode-se ter um caso em que a vibração do transporte ocorre em combinação com elevadas temperaturas. Porém, é impraticável a simulação de transporte de grandes amostras em uma atmosfera condicionada. Em tais casos, a realização de ensaios em condições um pouco diferentes do ideal podem ser adotadas (pode-se fazer o condicionamento das amostras e levá-las o mais rapidamente ao ensaio de vibração), ou podem ser necessários ajustes na intensidade ou outros parâmetros dos ensaios de forma a compensar riscos ou combinações não ensaiadas.

ALÉM DOS ENSAIOS DE INTEGRIDADE

Conforme previamente discutido, os ensaios de integridade têm sido utilizados com muito sucesso por muitas empresas há vários anos. Mas com as exigências cada vez mais severas trazidas pela globalização, competição internacional e condições de transporte amplamente variáveis, os ensaios de integridade podem não mais ser suficientes em muitos casos. Pode-se observar um aumento no número de programas de ensaios sendo melhorados, de forma a incluir estudos mais avançados. Muitas vezes os protocolos de ensaios prévios são uma mistura de dois ou até três tipos de ensaios. Algumas vezes isso ocorre por projeto (a série 2 da ISTA é uma combinação de ensaios de integridade e simulação generalizada, a série 4 é uma combinação de ensaios de simulação generalizada e focalizada), e algumas vezes ocorre em resposta a situações específicas. As seções seguintes ilustram casos típicos desta "mistura".

Ensaio de Integridade com Simulação Generalizada

Uma empresa utilizando um protocolo básico de ensaios de integridade (vibração e queda) verifica a ocorrência de danos na distribuição. O dano parece ter sido causado por empilhamento em condições de alta umidade, e assim adiciona-se o ensaio de compressão com condicionamento ao protocolo de ensaios. Não são realizadas medições em campo, o ensaio de compressão é determinado a partir de um elemento do ensaio de simulação generalizada.

Combinação de Simulações Focalizada e Generalizada

Um ensaio de simulação generalizada inclui uma afirmação similar a esta: "Caso sejam disponíveis maiores informações a respeito... do ambiente ou o histórico de danos da unidade de carga, recomenda-se que... o procedimento seja modificado de forma a utilizar esta informação". Uma empresa tem bom acesso a dados referentes a vibrações em seus veículos, incorporando assim estas informações em seu protocolo de ensaios.

Uma empresa utiliza de forma satisfatória um protocolo de simulação generalizada, exceto pelo fato de que alguns carregamentos destinados a um país ou determinada área geográfica em particular apresentam níveis de dano acima do normal. Assim se estabelece um programa de medição a fim de se detectar e quantificar tais diferenças. Baseando-se nos resultados, são implementados ensaios de maior intensidade no caso de carregamentos destinados àquela região problemática, e/ou altera-se o desenho de embalagem.

Adaptado de KIPP, W.I. The Technology of Transport Packaging Evaluation. Associate Education Director, International Safe Transit Association.

Há alguns anos o CETEA, verificando a necessidade de diferentes protocolos de ensaio de forma a atender às diversas características das empresas em nosso País, vem realizando trabalhos baseados nos procedimentos da ISTA. No final do ano de 2003, o CETEA obteve a aprovação de seu Laboratório de Transporte e Distribuição junto à ISTA e em breve estará listado como um laboratório certificado por esta associação.