

### Conteúdo

## Ensaio de Compressão de Pilhas versus Tradicional

*Luther "Chip" Stone  
Especialista em embalagens Sênior  
The Hershey Company*

*Traduzido por Mauricio Rossi Bordin*

O seguinte trabalho foi apresentado no *ISTA's 2012 International Transport Packaging Forum* realizado entre 2 e 5 de abril, em Orlando, Flórida.

**Resumo da apresentação:** Esta é a cena: você executa ensaios de resistência à compressão em uma caixa "display". Seus resultados sugerem um fator de segurança que é muito mais do que adequado. Você inicia a produção e pilhas de caixas estão entrando em colapso e caindo em todos os lugares. Existiria algum ensaio melhor que você poderia ter feito?

### Introdução - Por que realizar um ensaio de compressão?

Há um grande número de razões para realizar um ensaio de compressão ou qualquer outro ensaio relacionado:

1. O FDA, o USDA ou o OSHA (ou seja, o governo) exigem os ensaios.
2. Os clientes exigem os ensaios.
3. Seu departamento jurídico exige os ensaios.
4. Porque o chefe mandou.
5. Força do hábito - Teste tudo, independente se é necessário ou não.
6. Você quer alguns ensaios para dizer que seu projeto está correto, caso ele não esteja.
7. Seu projeto parece bom no papel, mas não parece muito bom no mundo real.
8. Você quer prever como novos projetos ou futuras alterações irão funcionar no mundo real.

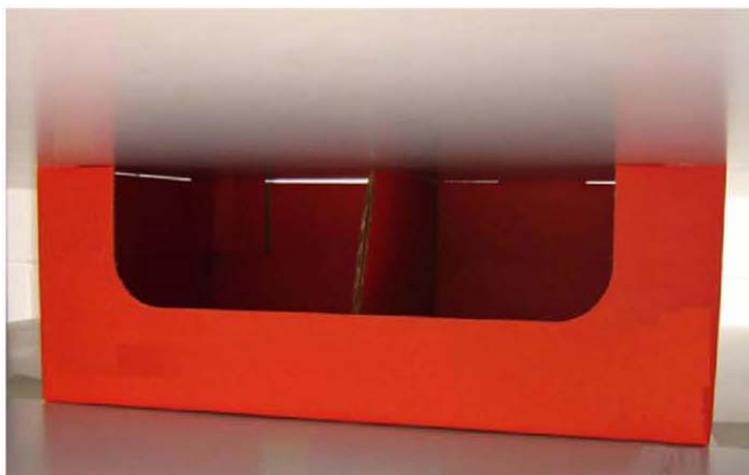
Se você está testando porque o governo, seus clientes, seus advogados ou seu chefe exigem, eles provavelmente também exigirão um ensaio específico. Nesses casos, este artigo poderá não ser muito relevante.

Se, entretanto, você estiver interessado em como o ensaio de compressão pode ser relacionado com o mundo real, continue lendo.

## Ensaio de compressão tradicionais

A maioria dos laboratórios realiza o ensaio de compressão de acordo com ASTM D 642, T804 TAPPI, ASTM D 4577, ISO 12048 ou algum método de ensaio similar. Apesar deles serem ensaios padronizados e aceitos como preditivo do desempenho das caixas de papelão ondulado (e outras embalagens) no mundo real, o quão real são eles?

Todos os métodos de ensaio que conheço indicam a colocação das amostras entre duas placas planas rígidas, sendo, em seguida, comprimidas por elas.



**FIGURA 1.** Caixa sendo comprimida entre pratos de aço rígido.  
Com que frequência você vê isso no mundo real?

Os métodos de ensaio que nós utilizamos com mais frequência (e por nós, quero dizer a Hershey, nossos fornecedores e nossos laboratórios terceirizados) geralmente seguem a ASTM D-642, que especifica que as amostras sejam comprimidas a uma velocidade de 1/2 polegada (13 mm) por minuto. Quantas vezes você vê isto no mundo real?

Durante um ensaio a amostra geralmente experimenta a compressão durante um minuto ou menos. Quantas vezes você vê isto no mundo real?

## Compressão no mundo real

O que nós vemos no mundo real? Bem, no mundo da Hershey, nós construímos unidades de carga empilhando caixas de papelão ondulado em cima de caixas de papelão ondulado. A parte inferior da unidade de carga, muitas vezes é colocada sobre uma "slip sheet" sobre o piso de um reboque, o que é uma representação adequada do prato inferior fixo e rígido de um equipamento de ensaio de compressão. Da mesma forma, muitas vezes a parte inferior de uma unidade de carga é um palete de madeira, uma superfície semirrígida no melhor dos casos, o que eventualmente poderia ser adequadamente representado pelo prato inferior fixo e rígido de um equipamento de ensaio de compressão. O restante das caixas na pilha repousa sobre o topo das outras caixas, o que não é uma superfície plana e rígida.

Por outro lado, o único lugar que uma caixa de papelão ondulado sempre vê uma carga rígida sobre ela é no laboratório. No mundo real, a carga superior em uma caixa de papelão ondulado é quase sempre outra caixa de papelão ondulado ou coisa ainda pior (como a face inferior de um palete de madeira). Quantas vezes você vê isto no laboratório?

Mesmo quando empilhamos unidades de carga ainda estamos olhando para caixas de papelão ondulado empilhadas sobre caixas de papelão ondulado, com uma "slip sheet" ou separador de camada entre algumas das camadas, ou pior como um estrado de madeira. Quantas vezes você vê isto no laboratório?

## As caixas de nossos antepassados

As caixas de nossos antepassados são estruturalmente simétricas. Isto inclui a "maleta normal" (caixa tipo 0201), caixas "Bliss", caixas telescópicas etc. Basicamente, elas têm a mesma resistência independente da direção frente-fundo ou lado a lado. Elas têm e seis faces que são superfícies planas. Não há recortes. Elas não têm topos abertos, pelo menos não quando paletizadas, Elas tendem a ser empilhadas alinhadamente.

Pensando assim, elas foram concebidas por nossos antepassados, assim como os equipamentos de compressão de prato fixo e os métodos de ensaio que os utilizam. Quantos de vocês eram vivos quando a caixa tipo "maleta normal" foi inventada? Quem se lembra da invenção do equipamento de compressão?

Ah, claro, os equipamentos de compressão atuais incorporam equipamentos eletrônicos e computadores, mas isto só melhora o controle do prato, a precisão da força e dos valores de deformação. A tecnologia é mais precisa, mas o ensaio básico não mudou muito. Eu tenho uma cópia de um método de ensaio que foi publicado antes de eu nascer - e ele, praticamente, não mudou.

Nós ainda usamos caixas de papelão ondulado estruturalmente simétricas. Felizmente, os equipamentos dos nossos antepassados e seus métodos de ensaio funcionam bem para caixas estruturalmente simétricas. O mais importante é que eu acho que eles podem ser facilmente adaptados para funcionar bem para casos atuais de caixas "display", expositores, bandejas etc.

## Caixas assimétricas

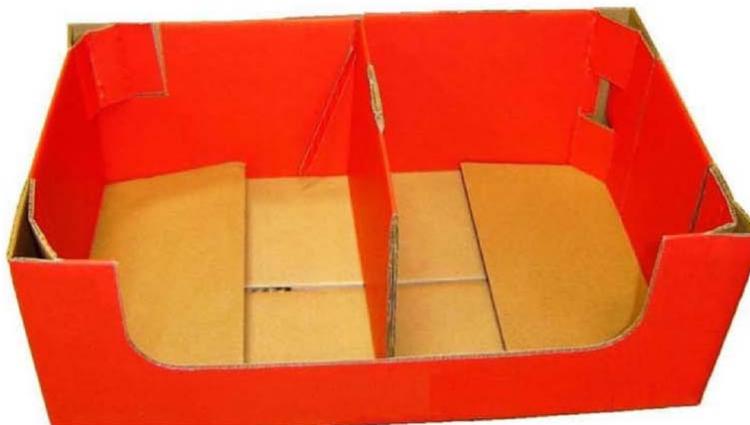
Atualmente, grande parte das nossas embalagens de transporte consiste em expositores, bandejas e outros contêineres estruturalmente assimétricos. Nossos clientes querem recortes, laterais abertas, extremidades abertas e topos abertos, mas eles querem grandes e belas áreas gráficas. Eles querem que usemos o mínimo de material possível. Às vezes parece que nossos clientes não querem nada que aumente a resistência à compressão, estabilidade ou capacidade de empilhamento de nossas caixas. Eles querem empilhar as caixas, mas não querem que os recursos que auxiliam o empilhamento interfiram com a "experiência de compra".

Isto resulta em caixas que representam um desafio para a concepção, o empilhamento e os ensaios. A Figura 2 mostra um exemplo de uma bandeja. Embora sejam muitas vezes fornecidas com uma tampa sobreposta, estas bandejas são normalmente empilhadas no varejo sem a tampa.

Esta caixa é mais fraca na região do painel frontal, mesmo se colocarmos uma tampa sobre ela. Parece também que o painel frontal (ou o que sobrou dele depois que a janela de compras é cortada) irá sofrer uma deformação diferente daquela observada no painel traseiro, durante o ensaio.

Como eu tento imaginá-la como parte de uma pilha, cheia de produtos, no mundo real, eu questiono a sua capacidade de empilhamento. Uma pilha dessas será estável? Estas caixas terão a tendência de se afundar e se encaixar sobre as caixas inferiores? Quando empilhadas, a interface entre a parte superior de uma caixa e o fundo da caixa de cima afeta a "resistência à compressão do mundo real"?

Eu sempre duvidei da utilização de equipamentos de compressão de prato fixo em estruturas que não são estruturalmente simétricas, como por exemplo a caixa de papelão ondulado da Figura 2. Um prato flutuante permitiria que as diferentes faces se deformassem a taxas diferentes, onde um equipamento de prato fixo forçaria uma taxa de deformação igual a toda a estrutura.



**FIGURA 2.** Caixa estruturalmente assimétrica.

Agora eu acho que nós precisamos duvidar da prática de ensaiar uma única amostra, entre duas placas rígidas, pelo menos quando estivermos ensaiando modelos que não sejam empilháveis de maneira tão regular como as caixas de nossos antepassados.

### Compressão em pilhas

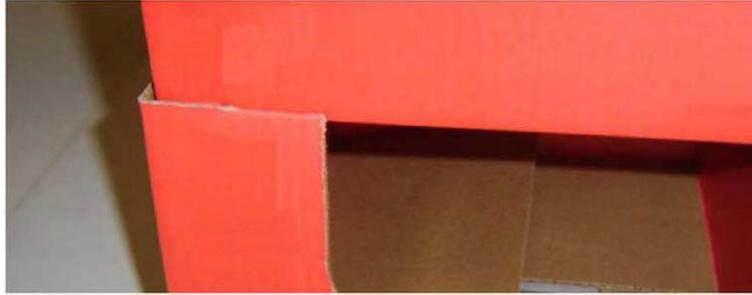
Vamos executar um ensaio de resistência à compressão na caixa da Figura 2. Obtemos um valor de força de compressão de 938 libras-força. Agora vamos empilhar três delas (ver Figura 3) e executar um ensaio de resistência à compressão na pilha.



**FIGURA 3.** Pilha de caixas estruturalmente assimétricas.

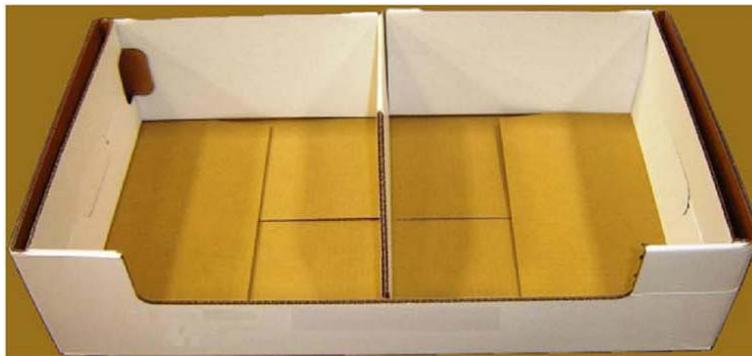
Nós obtemos uma força de compressão de 745 libras-força, 20,6% menor. Ou, pode-se dizer que o valor para uma caixa única é de 25,9% mais elevado do que o valor para a pilha. Isso depende de qual valor nós decidimos usar como referência quando calculamos a porcentagem. E esta decisão, por sua vez, depende de qual é o valor correto.

De qualquer forma, há uma diferença significativa, mas esta não é a única diferença. Vamos nos aproximar da pilha (ver Figura 4).

**FIGURA 4.** Afundamento.

Observe como o canto inferior esquerdo da frente da caixa do meio se encaixou no canto superior esquerdo da frente da caixa inferior. Esta é uma falha e este é um modo de falha que temos visto freqüentemente no mundo real, mas que nunca vimos no laboratório, pelo menos não até que começamos a experimentar com ensaios de compressão empilhados.

Vamos testar outro desenho, de ambas as maneiras. Veja as Figuras 5 e 6. Mais uma vez, independentemente de como você olha para a diferença de valores, há uma diferença significativa entre eles.

**FIGURA 5.** Resistência à compressão = 978 lbf (40,5% maior do que quando ensaiada em pilha).**FIGURA 6.** Resistência à compressão = 696 lbf (28,8% menor do que a Figura 5). Observe o afundamento entre as duas caixas superiores, mesmo após a remoção da força de compressão.

Que valor é correto? Eu estou fazendo campanha para o valor de força da compressão em pilha, assumindo que empilhamos as caixas como elas serão empilhadas no mundo real. Por exemplo, as caixas das Figuras 5 e 6 são normalmente empilhadas no varejo como mostrado, mas são geralmente paletizadas e transportadas com uma tampa de papelão ondulado em cada caixa. Precisamos fazer um segundo teste, desta vez com as tampas. Esperamos obter valores mais elevados, mas os valores ainda são significativamente diferentes.

A resistência à compressão da caixa única com tampa é de 1.570 libras-força, enquanto a resistência à compressão de uma pilha de três caixas é de 1.124 libras-força. A caixa única ensaiada é 39,7% maior do que a pilha. Novamente, você pode recalculá-la e dizer que a pilha tem resistência 28,4% menor do que a caixa única, mas eu estou começando a pensar que a resistência à compressão da pilha é o valor correto e deve ser usado como referência no cálculo da diferença percentual.

## Como os resultados são relacionados?

Existe uma relação matemática entre o ensaio de compressão convencional e o ensaio com caixas empilhadas? Vamos olhar para os resultados dos ensaios de resistência à compressão para uma série de diferentes caixas.

**TABELA 1.** Resultados de ensaios de compressão tradicionais e com caixas em pilhas.

Amostra	Resistência à Compressão – caixa única (lbf)	Resistência à Compressão – caixas em pilhas (lbf)	Diferença
A	978	696	40,5%
B	920	662	39,0%
C	1570	1124	39,7%
D	1570	754	108,0%
E	1196	873	37,0%
F	938	745	25,9%
G	1453	1159	25,4%
H	1059	788	34,4%
I	947	816	16,1%
J	787	667	18,0%
K	972	824	17,9%

Eu não vejo qualquer relação entre os resultados de resistência à compressão de caixas isoladas e caixas empilhadas, exceto que os resultados são sempre menores quando as caixas estão empilhadas. A diferença entre eles parece depender do projeto específico. Em outras palavras, não vejo qualquer relação que nos permita executar ensaios de compressão em caixas individuais e usar esses resultados para prever ou calcular a resistência à compressão de pilhas.

## A compressão de uma pilha corresponde ao mundo real?

Nesse ponto, eu vou dizer que sim. Em nossos experimentos, nós vimos modos de falha do "mundo real" (como o afundamento entre as caixas) que nunca vimos ao testar caixas individuais. Às vezes, quando executando ensaios da ISTA 3E, ensaios de compressão de unidades de carga nos mostraram estes modos de falha, mas não de forma consistente. Tivemos amostras que foram bem sucedidas nos ensaios ISTA 3E, mas que não apresentaram um bom desempenho quando empilhadas no varejo.

## Como o ensaio de pilha se relaciona ao mundo real?

Assim, nós acreditamos que os ensaios de compressão em pilhas se referem a resultados no mundo real, mas como? Ensaios de compressão em pilhas produzem modos de falha que vemos no mundo real. Além disso, produzem valores mais baixos do que o ensaio de compressão convencional, o que pode explicar por que razão alguns projetos parecem bem sucedidos em ensaios convencionais, mas falham em campo.

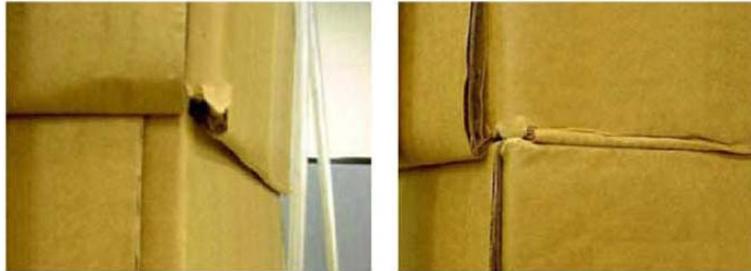


**FIGURA 7.** Modo de falha durante ensaio de pilha. Esta falha nunca acontece no ensaio de caixa única e raramente acontece em ensaios de unidades de carga.

## Enquanto nós pensamos que estamos no caminho certo, ainda temos algumas perguntas:

- Qual o fator de segurança que devemos usar? É claro que esta questão diz respeito a qualquer ensaio de compressão.
- É de 0,5 polegada por minuto a velocidade correta de ensaio? Estamos comprimindo três caixas em série. Deveríamos comprimi-las em 1,5 polegadas por minuto? É claro, nós usamos 0,5 polegada por minuto ao ensaiar unidades de carga (que são caixas empilhadas), então parece que 0,5 polegada por minuto deve estar correto.
- Se nós normalmente especificamos uma deflexão máxima ao ensaiar caixas individuais, devemos triplicar ao testar uma pilha de três?
- Se uma caixa "display" é normalmente empilhada em quatro ou cinco níveis (ou mais) no varejo, será que ensaiar uma pilha de três irá nos dar resultados corretos?
- Será que ensaios de compressão em pilhas realizados em equipamentos de pratos fixos irão funcionar? Nós não tentamos isso, porque sempre usamos equipamento de prato flutuante.

- Será que ensaios de compressão em pilhas são aplicáveis a caixas estruturalmente simétricas? Novamente, não tentamos isso, mas eu já vi casos de afundamentos de caixas 0201 (caixa normal) no campo e após ensaios de vibração (ver Figura 8).



**FIGURA 8.** Afundamento em caixa tipo 0201. Não se vê este tipo de falha em ensaios de compressão convencionais.

## Algumas considerações adicionais

Se uma caixa “display” ou bandeja é empilhada no varejo, sem a tampa (varejistas não gostam das tampas), separadores de camadas ou amarrações, então os ensaios de compressão empilhados devem ser realizados sem eles. É claro que, enquanto estivermos ensaiando pilhas de três, a altura real deve ser considerada no cálculo do fator de segurança.

Se uma caixa “display” ou bandeja é transportada com as tampas, então ela também deve ser ensaiada com as tampas. Ao calcular o fator de segurança, não se esqueça que a altura da pilha durante o transporte será provavelmente diferente da altura da pilha no varejo.

Alguns modelos de caixa “display” são empilhados no varejo sem tampas ou separadores, unitizados e enviados para alguns clientes com tampas, e unitizados e enviados para outros clientes com separadores de camadas, ao invés de tampas individuais. Esses caixas provavelmente deverão ser ensaiadas em cada uma dessas configurações – o que significa três ensaios para um único desenho de caixa.

## Vantagens e desvantagens dos ensaios de pilhas

### Vantagens

- Requer um número menor de amostras comparado ao ensaio de unidades de carga.
- Mostra modos de falha que não são vistos ao ensaiar caixas isoladas.
- Permite avaliar a eficácia de tampas, separadores e outros componentes.

### Desvantagens

- Usa três vezes mais amostras, comparados ao ensaio de caixas individuais
- Usa um número ainda maior de amostras se a caixa for empilhada de maneiras distintas em diferentes situações, porque cada configuração deverá ser ensaiada.
- Incerteza sobre qual o fator de segurança usar.
- Incerteza sobre qual a velocidade de deformação usar.

## Conclusões

Mais uma vez, pensamos que estamos no caminho certo. Pensamos que, para certos modelos de caixa, os ensaios de compressão de pilha nos dão resultados melhores e mais precisos, e permite-nos ensaiar mais componentes que usamos quando empilhamos caixas.

## Referência

ISTA views: vision and views for the transport packaging community. **Stacked verses traditional compression testing**. February 2013. Disponível em: <<http://ista.idigitaledition.com/issues/20/>>. Acesso em: 07 mar. 2013.