CETEA INFORMATIVO
BOLETIM DE TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO DE EMBALAGENS
ITAL
INSTITUTO DE TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
ISSN2175 - 5000
VOL. 22 - N°1
JANEIRO / FEVEREIRO / MARÇO – 2010

ANÁLISE DE ENGENHARIA PARA PROBLEMAS COMPLICADOS

Matt Daum - Hewlett-Packard Company

Traduzido por: Maurício Bordin
Título Original: Engineering Analysis for Tricky Problems

INTRODUÇÃO

O objetivo deste trabalho é descrever um problema com caixas de papelão ondulado, que a princípio pareceu simples de ser corrigido, mas logo se tornou um problema caro, complicado, sem respostas claras. Começando na primavera de 2008, a divisão HP Laserjet começou a receber relatórios dos centros de distribuição sobre problemas de caixas com amassamentos. Inicialmente os relatórios pareciam encaixar-se em uma expectativa normal para as taxas de danos e, juntamente com uma nova cadeia de abastecimento, não causou preocupação extraordinária para a equipe de engenharia de embalagem. A cadeia de abastecimento tradicional para a maioria dos produtos LaserJet era a de despacho a granel das máquinas para os centros regionais de finalização regionais, onde os produtos eram submetidos à montagem final e embalados. Agora, muitos produtos são finalizados e embalados nas fábricas da Ásia e enviados diretamente para centros de distribuição regionais. Esta mudança na cadeia de suprimentos significa que as caixas deixaram de ser compradas regionalmente nos Estados Unidos ou na Europa, passando a ser compradas na Ásia, e o produto sendo transportado através do oceano já dentro da embalagem final - uma cadeia de suprimentos muito mais longa e com características diferentes, que exigem uma maior expectativa de desempenho. No verão de 2008, uma percentagem bastante elevada de caixas danificadas chegou aos Estados Unidos causando um alto custo de retrabalho. Este trabalho irá discutir os desafios enfrentados durante a investigação das causas, a análise de engenharia que levou a uma solução em curto prazo, e os nossos planos de longo prazo para enfrentar uma nova combinação de variáveis para a especificação de caixas de papelão de originárias da Ásia.

O PROBLEMA

No passado todos os produtos LaserJet eram fabricados na Ásia e fornecidos em embalagens a granel para os centros regionais de finalização, onde a montagem final ocorria, incluindo a aplicação dos materiais de embalagem final (caixa e acolchoamentos). Nesta cadeia de suprimentos, as caixas eram adquiridas regionalmente e tinham sua resistência à compressão calculada para o trânsito regional, assim como para os períodos de armazenamento locais. No entanto, houve uma mudança significativa na cadeia de suprimentos dos produtos LaserJet, com todas as atividades da produção ocorrendo na Ásia, incluindo a aquisição e montagem da caixa de papelão ondulado. A Figura 1 mostra o fluxo de produtos na cadeia de suprimentos. A caixa está sujeita agora ao trânsito por via marítima. Inicialmente, o problema das caixas de papelão ondulado danificadas parecia de solução bastante simples e direta. A Figura 2 mostra os danos típicos reportados pelos nossos centros de distribuição. Perto da “porta de localização” (uma janela perfurada utilizada pelos centros de distribuição para acrescentar os cabos de força e documentação específicos de cada região), a caixa apresentava um esmagamento em um padrão típico de falha.

No meio do verão, no entanto, as taxas de dano relatadas atingiram níveis inaceitáveis e tornou-se claro que uma intervenção era necessária. Um ponto curioso para os nossos engenheiros foi o fato desta questão ser um problema significativo apenas para os produtos LaserJet, não sendo observados nos produtos Jato de Tinta mais leves, e que haviam tido sua cadeia de suprimentos alterada para esta alternativa alguns anos antes.

ITAL
INSTITUTO DE TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
ISSN2175 - 5000
VOL. 22 - N°1
JANEIRO / FEVEREIRO / MARÇO – 2010

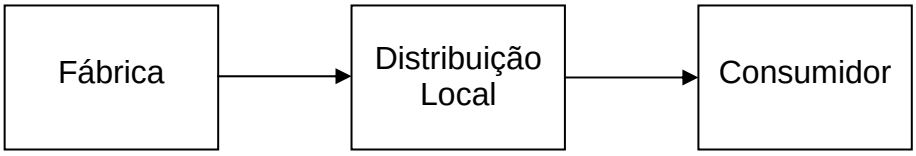

FIGURA 1. Nova cadeia de suprimentos: produtos na embalagem final diretamente da fábrica na Ásia.

FIGURA 2. Falha típica observada nas caixas.

ENCONTRANDO A SOLUÇÃO: CURTO PRAZO

Para aqueles que atuam no campo de embalagem por algum tempo, o problema de caixas de papelão ondulado amassadas é um problema familiar com simples causas. Para começar, vamos verificar se não é um caso de fornecedor deixando de cumprir as especificações. Isto inclui a verificação de resistência à compressão, tipo de onda, gramatura do papelão, etc. No outro extremo, verifica-se se o engenheiro de embalagem especificou corretamente a caixa. Se por um lado descobrimos que as especificações estavam corretas (incluindo uma da cadeia de suprimentos mais longa, umidade, altura de empilhamento, etc.) e que o fornecedor estava seguindo corretamente as especificações (considerando que as caixas foram aprovadas no ensaio de compressão), acabamos por descobrir algumas não-conformidades. Um exemplo é mostrado na Figura 3, onde a equipe de compradores decidiu mudar de onda BC para onda EC a fim de melhorar a qualidade visual da impressão (a engenharia de embalagens não especificava o tipo de onda, apenas a resistência à compressão).

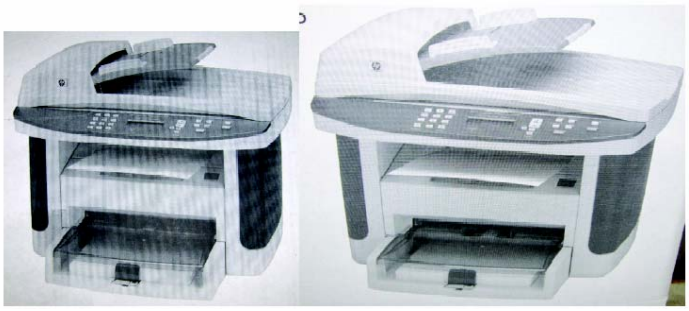

FIGURA 3. Qualidade de impressão em onda BC (esquerda) e onda EC (direita).

No processo de determinação da causa raiz para o dano por compressão, os engenheiros realizaram uma investigação típica em diferentes fatores e características da caixa esperando encontrar um ou mais fatores que causassem o problema. A investigação detalhada incluía a avaliação do tamanho da “porta de localização”, sua localização, relação de tamanho entre a porta e o painel onde estava localizada, o posicionamento da junta de fabricação em relação à “porta de localização”, o espaço livre entre as abas e o acolchoamento, dentre outros. Desta maneira, esperava-se encontrar a causa raiz. Na verdade, os gráficos de danos não conseguiram encontrar nenhuma correlação (ver Figura 4). Em outras palavras, não houve um padrão claro ligando as características de desenho da caixa, material, tipo onda, gramatura, etc., com os danos de campo. Para complicar ainda mais a nossa análise, a HP utiliza caixas com “portas de localização” por mais de 15 anos sem ver a magnitude dos danos agora observados. E a resistência à compressão da

ITAL
INSTITUTO DE TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
ISSN2175 - 5000
VOL. 22 - N°1
JANEIRO / FEVEREIRO / MARÇO – 2010

caixa, apesar de algumas caixas específicas não atenderem às especificações, apresentava o desempenho esperado quando ensaiadas no laboratório da Ásia ou em nosso laboratório em Boise. Nossa conclusão para a causa da raiz foi: não há nenhuma conclusão! Neste meio tempo, a pressão para encontrar rapidamente uma solução cresceu.

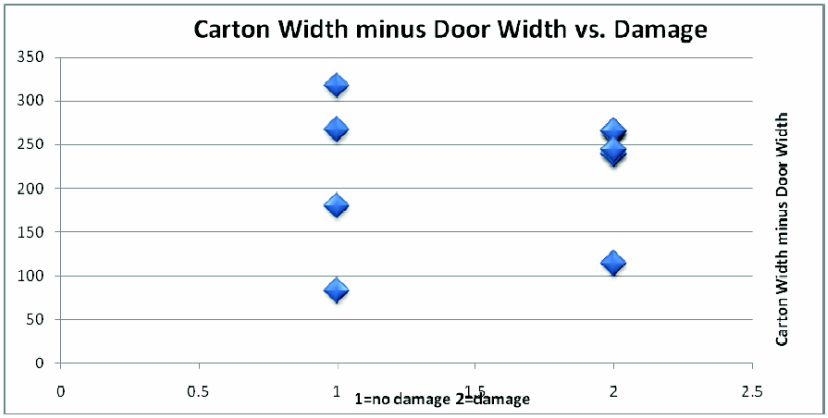

FIGURA 4. Exemplo de gráfico de correlação.

A necessidade era se identificar um método para avaliar rapidamente mudanças de projeto e que pudessem prever se os problemas de compressão de caixa seriam eliminados no centro de distribuição e não apenas quando testado no laboratório. O componente “tempo” foi uma necessidade crítica, visto que qualquer alteração implementada teria pelo menos 30 dias ou mais de atraso, devido ao transporte marítimo. O ponto-chave da mudança veio quando um dos engenheiros sugeriu um teste de correlação, traçando taxa de dano ao "tempo até a falha" em uma mesa de vibração. A idéia era testar as caixas até a falha usando um perfil padrão de vibração e plotá-lo contra a taxa de danos conhecida em campo. Da mesma maneira o custo de retrabalho correspondente também foi traçado. O ensaio foi estruturado para aplicar um peso estático à caixa igual ao que ela estaria sujeita durante o transporte marítimo, uma vez que a pilha de caixas estava em boas condições antes do embarque, mas danificada após a chegada ao porto nos Estados Unidos. As Figuras 5 e 6 explicam e mostram a montagem do ensaio.

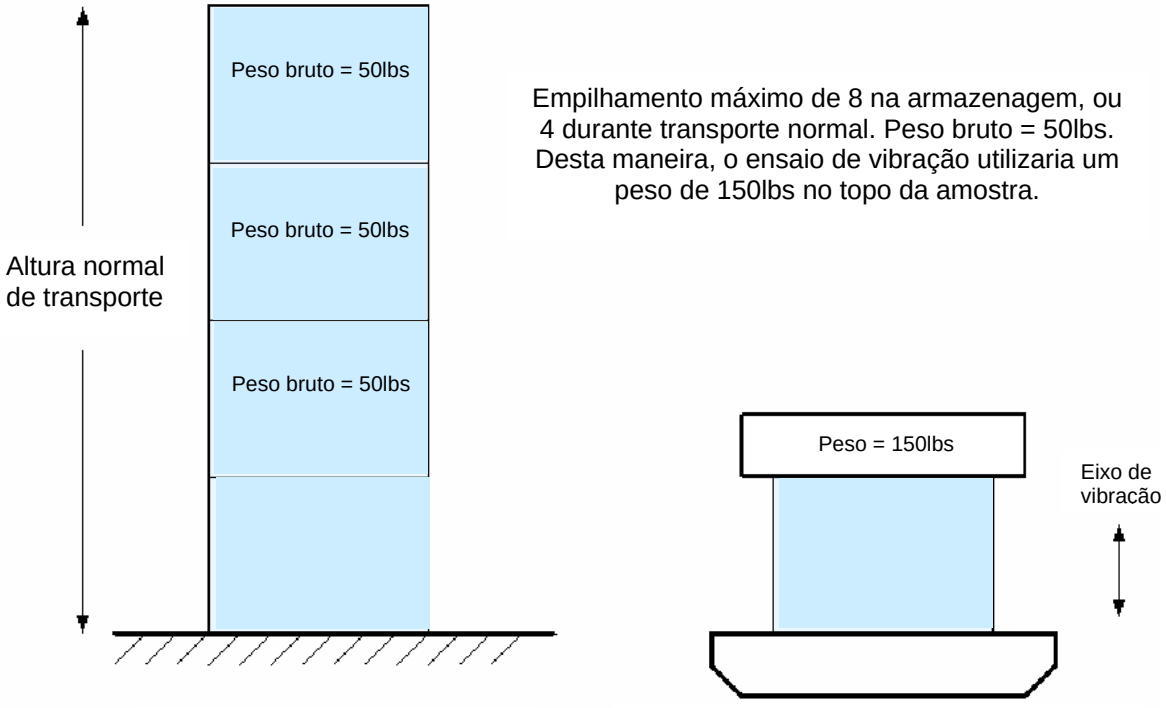

FIGURA 5. Preparação para o ensaio.

ITAL
INSTITUTO DE TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
ISSN2175 - 5000
VOL. 22 - N°1
JANEIRO / FEVEREIRO / MARÇO – 2010

FIGURA 6. Amostra em ensaio em mesa de vibração.

Onze caixas diferentes foram ensaiadas e tiveram seus resultados plotados, sendo nove delas com taxas de danos de campo conhecidos. A Figura 7 mostra o gráfico resultante. No eixo vertical à esquerda, é indicada a taxa de danos em campo. O período de tempo até a falha (sendo falha definida por uma inspeção visual equivalente ao dano de campo) é plotado ao longo do eixo horizontal. Ao longo do eixo vertical direito o custo de retrabalho foi plotado. Somente uma caixa não seguiu a curva de correlação. Agora, os engenheiros tinham uma maneira rápida e confiável de fazer mudanças estruturais e de materiais, prevendo as taxas de danos resultantes sem ter que trabalhar através de um processo moroso de tentativa e erro. Lembre-se que o ensaio padrão de compressão não foi útil para o nosso problema, uma vez que poderia apresentar uma "aprovação" no laboratório, mas ainda com resultados inaceitáveis em campo.

A correção de curto prazo foi simplesmente aumentar o fator segurança no cálculo compressão caixa por um valor extremo. Apesar de não ser um método preferido (pois é caro e a causa raiz ainda não era conhecida), foi suficiente para conter a onda de prejuízos e permitiu-nos pensar sobre outras considerações para uma solução de longo prazo.

Encontrando a solução: Longo Prazo

Uma pequena equipe foi montada a partir dos grupos de engenharia e compras para tentar entender o que deveria ser feito. A equipe começou a avaliar o início do processo a partir das especificações de engenharia para a fabricação da caixa. Observou-se, então, que a engenharia de embalagens especificava uma resistência à compressão no desenho, mas em seguida, o comprador na Ásia convertia esse número em um valor de RCC (Resistência à Compressão de Coluna) utilizando a versão simplificada da Fórmula de McKee. A razão para esta conversão consiste na maior facilidade de comparação entre fornecedores por valor de RCC, metros quadrados de material (baseado em volumes previstos) e o tipo de impressão (flexografia, litografia, etc.). Isto é, adequar as práticas correntes de fornecedores de papelão ondulado pelo valor de coluna, equalizando o processo de licitação entre os fornecedores. Isto levanta a questão sobre a exatidão da Fórmula de McKee, embora as caixas ainda atendessem às especificações originais de resistência à compressão.

A equipe começou a pensar sobre a nova cadeia de abastecimento e sobre o fato de que agora as caixas eram compradas na Ásia em vez de nos Estados Unidos ou na Europa. Assim, se tornou evidente que estas duas variáveis importantes precisariam ser examinadas mais de perto, especialmente a interação entre as variáveis.

A primeira variável foi o teor de fibra reciclada. Conteúdo de fibra reciclada típica varia entre zero e talvez 20% (média mínima) nos Estados Unidos e na Europa. Porém, os fornecedores asiáticos estavam relatando conteúdo de fibra reciclada de 75% ou mais. Certamente isto tem um efeito no desempenho do caixa, mas não pode explicar por si só os problemas encontrados, até porque as caixas atendiam a especificação de resistência à compressão na maioria dos casos.

ITAL
INSTITUTO DE TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
ISSN2175 - 5000
VOL. 22 - N°1
JANEIRO / FEVEREIRO / MARÇO – 2010

A segunda variável veio à tona quando se pensa sobre a nova cadeia de suprimentos, que incluiu uma etapa de transporte marítimo junto com a embalagem final. A umidade é um conhecido fator ambiental e é contabilizada na especificação original, quando o fator de segurança é escolhido. Como prova da importância de participar do *Transport Packaging Forum* (*and Dimensions* antes disso), uma apresentação de David Leinberger (Figura 8) foi utilizada para identificar um aspecto fundamental da umidade: a natureza cíclica da umidade em um contêiner durante o curso de um transporte. O significado deste fato não era evidente até depois de várias conversas com os nossos fornecedores de papelão ondulado.

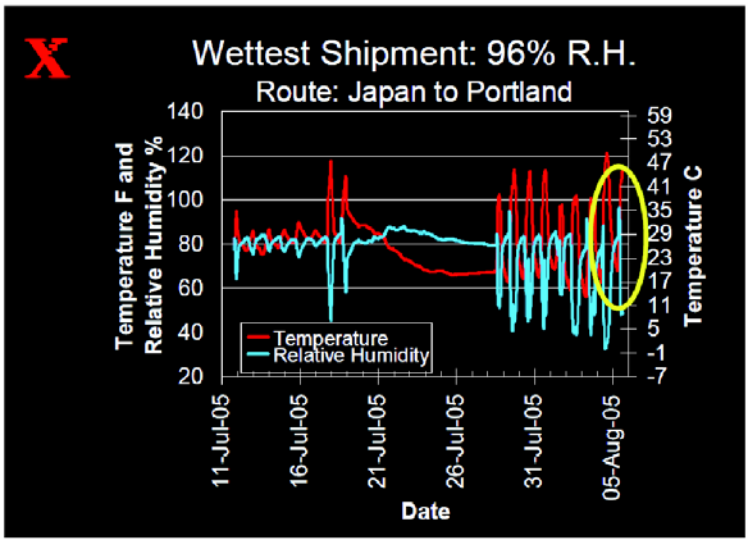

FIGURA 8. Umidade cíclica em contêineres durante transporte marítimo
(Fonte: D. Leinberger/ISTA, 2006)

O próximo fato considerado foi a interação de conteúdo de fibra reciclada alta e umidade cíclica. A Figura 9 é um gráfico fornecido por uma fonte externa à HP e dá uma pista para a compreensão de uma possível solução de longo prazo. O gráfico mostra os resultados de caixas feitas de fibra virgem e fibra 100% reciclada, sob força constante, quando expostas à umidade cíclica entre 50 e 90%.

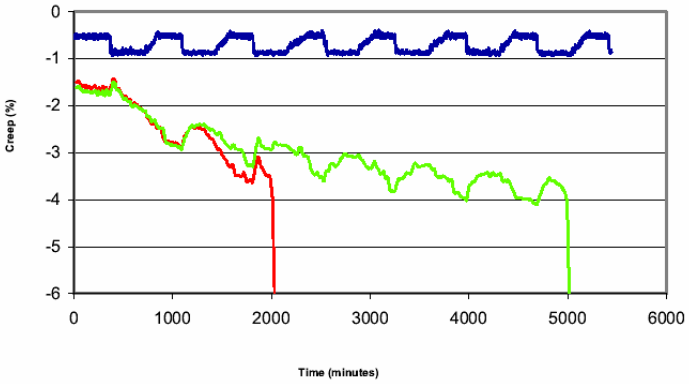

FIGURA 9. Fibras virgens e recicladas submetidas a uma força constante e expostas à umidade cíclica.

O poder deste gráfico encontra-se ao observar os tempos de falha das caixas. Não surpreende que a caixa de fibra reciclada falha muito mais cedo do que a caixa de fibra virgem. O que é surpreendente é a resistência à compressão comparável entre elas, quando ensaiadas no tempo zero. Em outras palavras, as caixas terão desempenho à compressão comparável, quando ensaiadas em ensaios nas condições padrão (50 ou mesmo 90% UR). Isto corresponde a nossa experiência. No entanto, após um período de tempo exposto à umidade cíclica, a falha ocorre muito mais cedo com a caixa de fibra reciclada. Esta combinação de elevado conteúdo reciclado e umidade cíclica parece explicar a raiz do nosso problema de compressão de caixa. Também suscita uma série de pergunta: como medir a qualidade do conteúdo reciclado (por exemplo, o comprimento da fibra, matérias-primas, etc.)? Qual é o conteúdo de fibra reciclada para que a resistência à compressão não seja comprometida sob umidade constante e cíclica? A HP deve

ITAL
INSTITUTO DE TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
ISSN2175 - 5000
VOL. 22 - N°1
JANEIRO / FEVEREIRO / MARÇO – 2010

alterar as especificações do seu ensaio para compressão de caixa incluindo umidade cíclica? E que mudanças de projeto que devemos considerar para compensar este fenômeno?

PRÓXIMOS PASSOS

Além das questões acima colocadas, a questão pragmática ainda em aberto para nós é: o que o engenheiro de embalagens deverá especificar no desenho de engenharia? O simples aumento do fator de segurança é útil, porém caro, e não responde à pergunta sobre quais fatores são mais importantes do que outros. O que é necessário é uma compreensão exata de quais fatores (incluindo o teor de fibra reciclada e sua interação com a umidade cíclica) fazem mais diferença para a compressão da caixa e como deve ser a abordagem de engenharia para isso? Parece haver muita literatura sobre fatores individuais e compressão de caixa, mas que é necessário, é algo pragmático e útil para um fabricante de caixa na Ásia. Atualmente a equipe de engenharia está trabalhando através de um “diagrama de espinha de peixe” de todos os fatores possíveis na fabricação de caixas de papelão ondulado. O plano é desenvolver um projeto de experimentos para identificar os fatores mais importantes combinado com conteúdo reciclado e umidade cíclica, e desenvolver um fator de ajuste que possa ser aplicado à compressão caixa original ou à Fórmula de McKee. Pode ser que a limitação de conteúdo de material reciclado seja a resposta (isto é, até certa percentagem tem-se um efeito insignificante sobre a compressão da caixa sob umidade cíclica) ou pode ser tão complicada como a necessidade de compreender fatores como o comprimento médio da fibra ou características da fonte de fibra reciclada.

RESUMO

Em resumo, uma mudança fundamental na cadeia de abastecimento para alguns produtos LaserJet levou a um grave problema de danos à caixa por compressão, que no início parecia fácil de corrigir. Infelizmente, os entendimentos padrão sobre especificação de caixa e os recursos, que se têm trabalhado no passado, não puderam ser correlacionados ao dano de campo, necessitando de um novo método de ensaio. Um ensaio de vibração foi concebido para correlacionar tempo na mesa de vibração com taxas de dano de campo, com excelentes resultados. Embora esta seja uma maneira rápida e confiável para avaliar as mudanças e prever as futuras taxas de danos, ele deixou em aberto a causa raiz e a solução de longo prazo. Ao olhar para a força de compressão relacionada com os elevados conteúdos de fibras recicladas e umidade cíclica observou-se que uma caixa com conteúdo de fibras recicladas alto pode, inicialmente, apresentar um desempenho semelhante a uma caixa de fibra virgem, esta caixa irá falhar muito mais cedo. Um projeto de experimento está sendo planejado para ajudar a responder as questões levantadas a partir desta experiência e eventualmente fornecer algum fator de correção que possa ser aplicado ao nosso cálculo de compressão de caixa ou a Fórmula de McKee, a fim de minimizar aumentos de custos, através da especificação exata dos requisitos de engenharia.

Referência

DAUM, M. Engineering analysis for tricky problems. **ISTA Views**, Orlando, February 2010. Disponível em: <www.ista.org> . Acesso em: 03 mar.2010.