CETEA INFORMATIVO
BOLETIM DE TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO DE EMBALAGENS
ITAL
INSTITUTO DE TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
ISSN 0104 - 3781
VOL. 8- N°4
JULHO / AGOSTO - 1996

ENSAIO DE CHOQUE E DESENVOLVIMENTO DE EMBALAGEM

Assis E. Garcia

O projeto adequado de embalagens de distribuição requer, a quantificação da fragilidade do produto ou do conjunto produto/embalagem primária. Quando isto é feito, é possível comparar a capacidade do produto/embalagem primária em resistir a impactos em níveis esperados no sistema de distribuição.

TEORIA

A Figura 1 mostra um corpo em uma queda livre que parte de uma altura h, normalmente submetido à aceleração da gravidade g, impacta o solo com uma velocidade de impacto (Vi) dada por:

$$V_i = \sqrt{2gh}$$

Chama-se coeficiente de restituição, e, a relação entre a velocidade de "ricocheteio", Vr, e a velocidade de impacto Vi, ou seja:

$$e = \frac{V_r}{V_i} \quad \text{ou} \quad V_r = e.V_i$$

Os valores de, e são compreendidos entre muito próximos de zero até valores próximos de 1; são típicos entre 0,3 e 0,5.

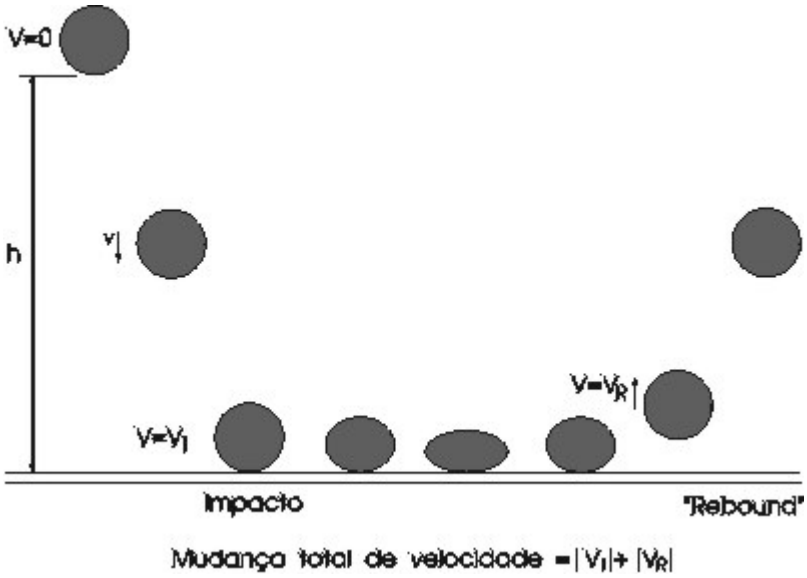

FIGURA 1. Queda livre de um corpo.

ISSN 0104 - 3781
VOL. 8- N°4
JULHO / AGOSTO - 1996

Se definirmos hi como altura que resultou em Vi e hr como a altura resultante de Vr podemos definir e como:

$$e = \frac{\sqrt{2gh_r}}{\sqrt{2gh_i}} \quad \text{ou} \quad e = \sqrt{\frac{h_r}{h_i}}$$

$$\text{ou} \quad \sqrt{h_r} = e\sqrt{h_i}$$

ou ainda:

$$h_r = e^2 h_i$$

Como **e** é sempre menor que a unidade, podemos concluir que mesmo valores altos para coeficientes de restituição resultam em diferenças grandes em hr e hi.

Define-se troca de velocidade, ΔV, para um impacto, como a soma absoluta dos valores das velocidades de impacto e “ricocheteio", ou seja:

$$\Delta V = |V_i| + |V_r|$$

ou

$$\Delta V = (i+e)V_i = (i+e)\sqrt{2gh_i}$$

Como 0 < e < 1

$$\sqrt{2gh_i} < \Delta V < 2\sqrt{2gh_i}$$

Danos em embalagem são atribuídos a três fatores envolvidos em choque mecânico.

- Aceleração pico
- Duração
- Troca de velocidade

sendo que o conhecimento de quaisquer dois desses fatores permite o cálculo do terceiro.

A Figura 2 apresenta uma curva típica de aceleração x tempo de um choque mecânico. Se lembrarmos as equações de movimento, temos que a velocidade instantânea é dada por:

$$V(t) = V(t - d_t) + a(t)dt$$

portanto, a troca de velocidade DV será dada por:

$$\Delta V = V(t) = V(0) = \int_0^t a(t)dt$$

ou seja, a área da curva aceleração x tempo é igual à troca de velocidade em um choque mecânico.

Da mesma forma, quando determinamos a curva V(t), podemos determinar a deformação envolvida em um choque mecânico pela equação:

$$\Delta D = \int_0^t V(t)dt$$

ou seja, a área da curva velocidade x tempo nos permite calcular a deformação.

ISSN 0104 - 3781
VOL. 8- N°4
JULHO / AGOSTO - 1996

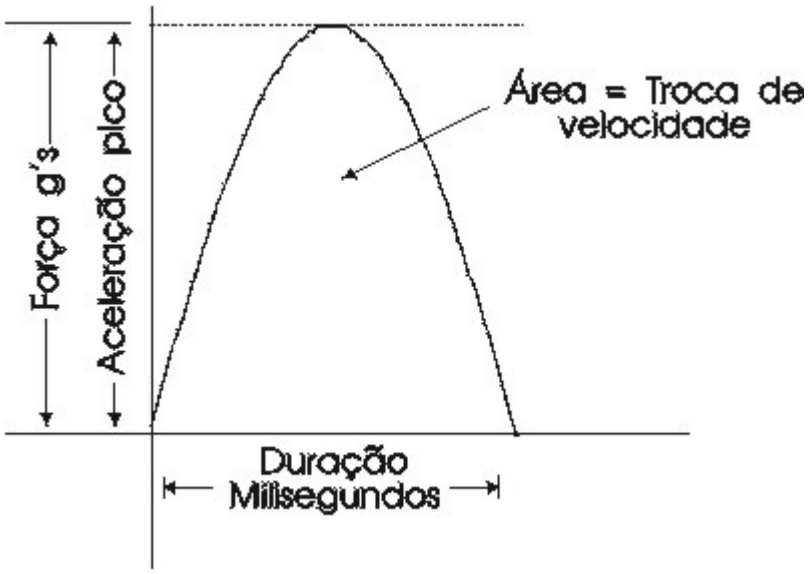

FIGURA 2. Curva típica de aceleração x tempo de um choque mecânico.

Conhecer a deformação envolvida em um choque mecânico é fundamental para o projeto de um sistema de amortecimento, pois qualquer que seja o material de acolchoamento a ser utilizado, este deve propiciar ao produto a ser protegido um deslocamento, no mínimo, igual ao calculado.

DEFINIÇÃO DO AMBIENTE

Durante a distribuição embalagens são manuseadas de diversas maneiras. Elas são derrubadas, jogadas, ou mesmo movimentadas de forma grosseira. Embalagens podem cair de esteiras ou empilhadeiras e chocar-se com o chão ou outro substrato. Elas também estão sujeitas a uma variedade de impactos causados por veículos nas operações de arranque e parada; ao encontrar um buraco ou lombada, etc. Em cada forma de impacto a embalagem pode encontrar um objeto como o chão, a carroceria do caminhão, a superfície do palete, outra embalagem, entre outros. Esses impactos resultam em choques mecânicos nos dois objetos.

Um choque mecânico ocorre quando uma amplitude de um objeto, posição, velocidade ou aceleração muda subitamente. O choque pode ser caracterizado por um ganho rápido em aceleração, seguido de uma perda igualmente rápida em um curto período de tempo. O gráfico aceleração versus tempo, para a maioria dos choques, é complexo conforme mostrado na Figura 3a. O choque é mais facilmente entendido quando trocamos o gráfico complexo por uma aproximação conforme mostrado na Figura 3b. Um choque de uma embalagem pode se dar em um tempo de 0,020 segundos (20 milisegundos) e apresentar uma amplitude de aceleração de 150 vezes a aceleração normal da gravidade terrestre (150g's).

ISSN 0104 - 3781
VOL. 8- N°4
JULHO / AGOSTO - 1996

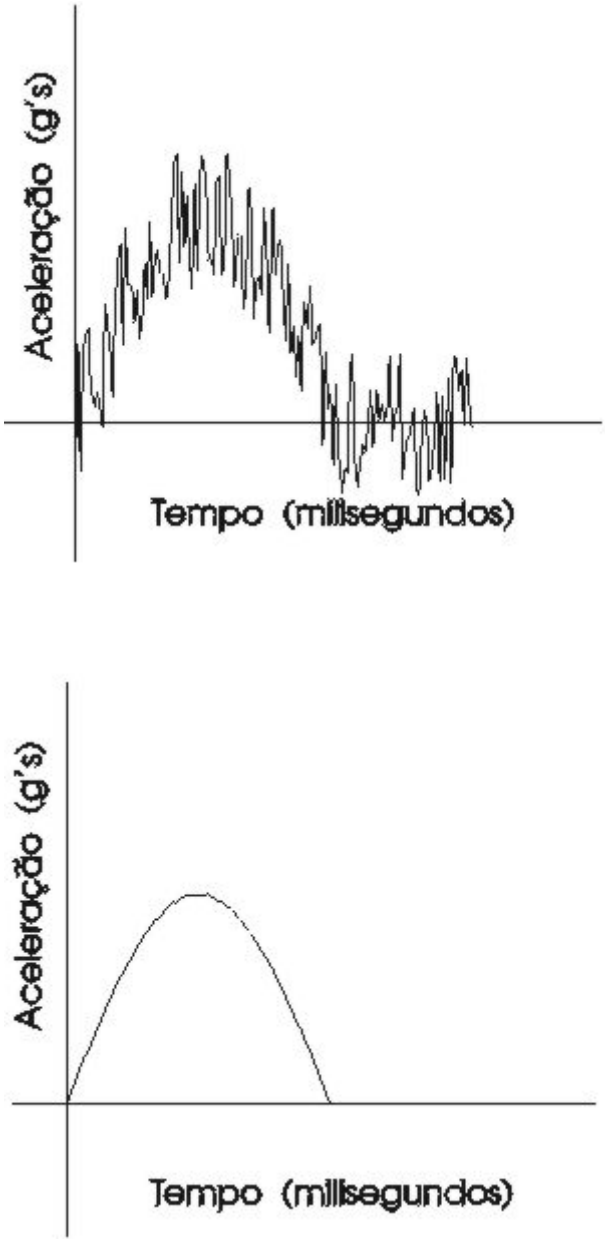

FIGURA 3. Representação gráfica de um choque mecânico.

As normas internacionais definem o choque que uma embalagem/produto pode sofrer, através da altura de queda, a qual é relacionada ao peso bruto da embalagem a ser transportada. Essas alturas de queda foram discutidas no artigo - Ensaios de resistência à queda livre de embalagens de papelão ondulado - publicado no Informativo CETEA Vol.8- N°2, mar-abr. 1996.

DEFINIÇÃO DA FRAGILIDADE DO PRODUTO

Os danos resultantes do choque resultam de tensões internas excessivas induzidas por forças de inércia. Uma vez que as forças de inércia são diretamente proporcionais à aceleração (F = m.a), a fragilidade ao choque é caracterizada pelo nível máximo de aceleração aceitável, isto é, quantos g's o produto pode suportar, ou então, quantas vezes a aceleração gravitacional.

ISSN 0104 - 3781
VOL. 8- N°4
JULHO / AGOSTO - 1996

Quando uma embalagem sofre uma queda, a aceleração local em sua superfície pode alcançar várias centenas de g's. O material de embalagem altera o pulso do choque transferido ao produto e, assim, a aceleração máxima é grandemente reduzida (e a duração do pulso é muitas vezes aumentada). Na especificação da embalagem de distribuição, o objetivo é assegurar que o nível de aceleração (g) transmitido ao produto pela embalagem seja menor do que àquele causador de danos ou falhas do produto.

O espectro de choque e a teoria do limite de danos são técnicas para caracterizar a resistência dos produtos aos choques devido ao manuseio. Elas levam à construção de uma curva "limite de dano", como a apresentada na Figura 4.

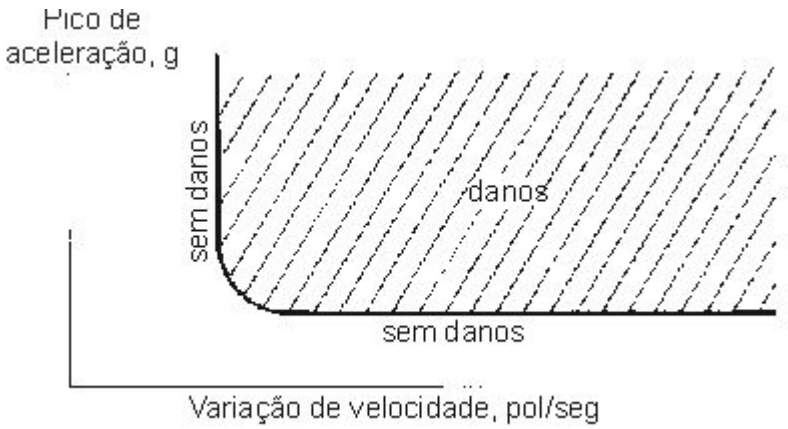

FIGURA 4. Curva-limite de danos típica.

A linha horizontal da curva-limite representa o valor máximo de aceleração que corresponde ao pulso de choque que causa algum dano ao produto. A linha vertical da curva representa a variação mínima de velocidade (altura de queda) necessária para causar danos. Um gráfico como este pode ser estabelecido para qualquer produto. Um pulso de choque localizado na área riscada (aceleração suficiente e alteração da velocidade) produzirá danos. Nenhum dano ocorrerá para pulsos com menor alteração de velocidade ou menor pico de aceleração.

A parte do gráfico correspondente à baixa velocidade (à esquerda) é a área onde não ocorrem danos, mesmo em acelerações muito elevadas. Aqui, a variação de velocidade (altura de queda) é tão baixa que o produto age como seu próprio amortecedor ao choque. Abaixo do limite de aceleração (parte do gráfico abaixo da curva-limite) não ocorrem danos, mesmo em elevadas variações de velocidade (alturas de quedas). Isto porque as forças geradas (F = m.a) encontram-se dentro dos limites de resistência do produto.

A Figura 5 mostra que o limite de variação da velocidade (linha vertical limite) é independente da forma do pulso de onda. Entretanto, o valor de aceleração (à direita da linha vertical) da curva-limite de danos para pulsos meio-seno e dente de serra depende da variação de velocidade. Para utilizar este limite de dano seria necessário a previsão precisa da altura de queda e dos coeficientes de restituição embalagem/acolchoamento. Uma vez que normalmente eles não podem ser previstos, um pulso de forma trapezoidal é tipicamente usado.

ISSN 0104 - 3781
VOL. 8- N°4
JULHO / AGOSTO - 1996

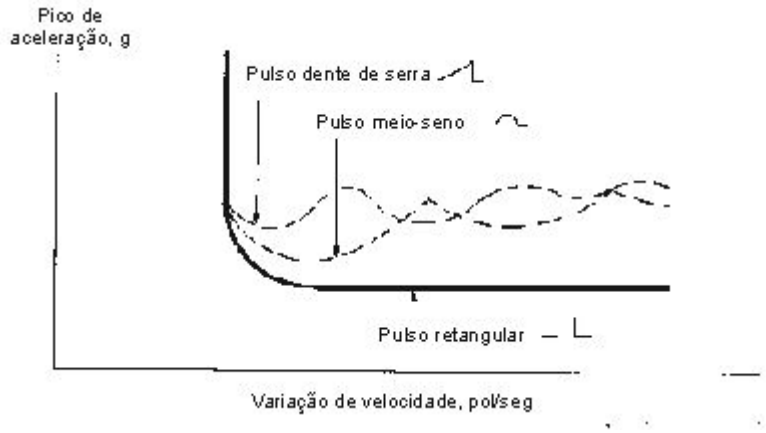

FIGURA 5. Curva-limite de danos e forma de pulsos.

O ensaio de determinação da fragilidade é normalmente conduzido em um equipamento de choque, sendo o procedimento padronizado e incorporado em várias normas como a ASTM D 3332-93. O uso de um equipamento de choque oferece um meio conveniente de gerar níveis de velocidade variáveis e consistentes e níveis de aceleração e tipo de ondas controláveis.

Tipicamente, o produto a ser testado é fixado no topo da mesa de um equipamento de choque e a mesa é submetida a variações controladas de velocidade e pulsos de choque. A mesa de choque é elevada a uma altura de queda predeterminada e então desprendida em queda-livre até impacto com a base do equipamento; quando há um “ricocheteio", um sistema de freio interrompe o movimento, de modo que ocorre apenas um impacto. Um programador de choque entre a mesa e a base controla o tipo de pulso de choque criado na mesa durante o impacto.

Para pulsos trapezoidais usados no ensaio de fragilidade, o programador é um cilindro pneumático de força constante. O nível de aceleração do pulso trapezoidal é controlado simplesmente pelo ajuste da pressão do gás nitrogênio no cilindro. A variação da velocidade é controlada pelo ajuste da altura de queda.

Para conduzir um teste de fragilidade, a altura de queda do equipamento de choque é fixada em um nível bastante baixo para produzir uma pequena variação de velocidade. Um pulso meio-seno ou um pulso trapezoidal podem ser utilizados neste teste inicial desde que a porção crítica de velocidade seja a mesma. Por conveniência normalmente se utiliza um pulso de choque meio-seno. A primeira queda é realizada e o produto examinado quanto à ocorrência de danos. A altura de queda é então aumentada para conferir maior variação de velocidade. A segunda queda é realizada e outra vez o produto é examinado. Efetuam-se quedas adicionais com gradual aumento na altura de queda até que ocorra algum dano ao produto. A variação de velocidade e o pico de aceleração são registrados a cada impacto. Uma vez ocorrido dano, o ensaio é suspenso, já que a velocidade mínima necessária para gerar o dano foi estabelecida, assim como a parte de variação de velocidade na curva-limite de danos (Figura 6a). A linha limite de dano situa-se entre a última queda sem danos e a primeira que causou danos.

ISSN 0104 - 3781
VOL. 8- N°4
JULHO / AGOSTO - 1996

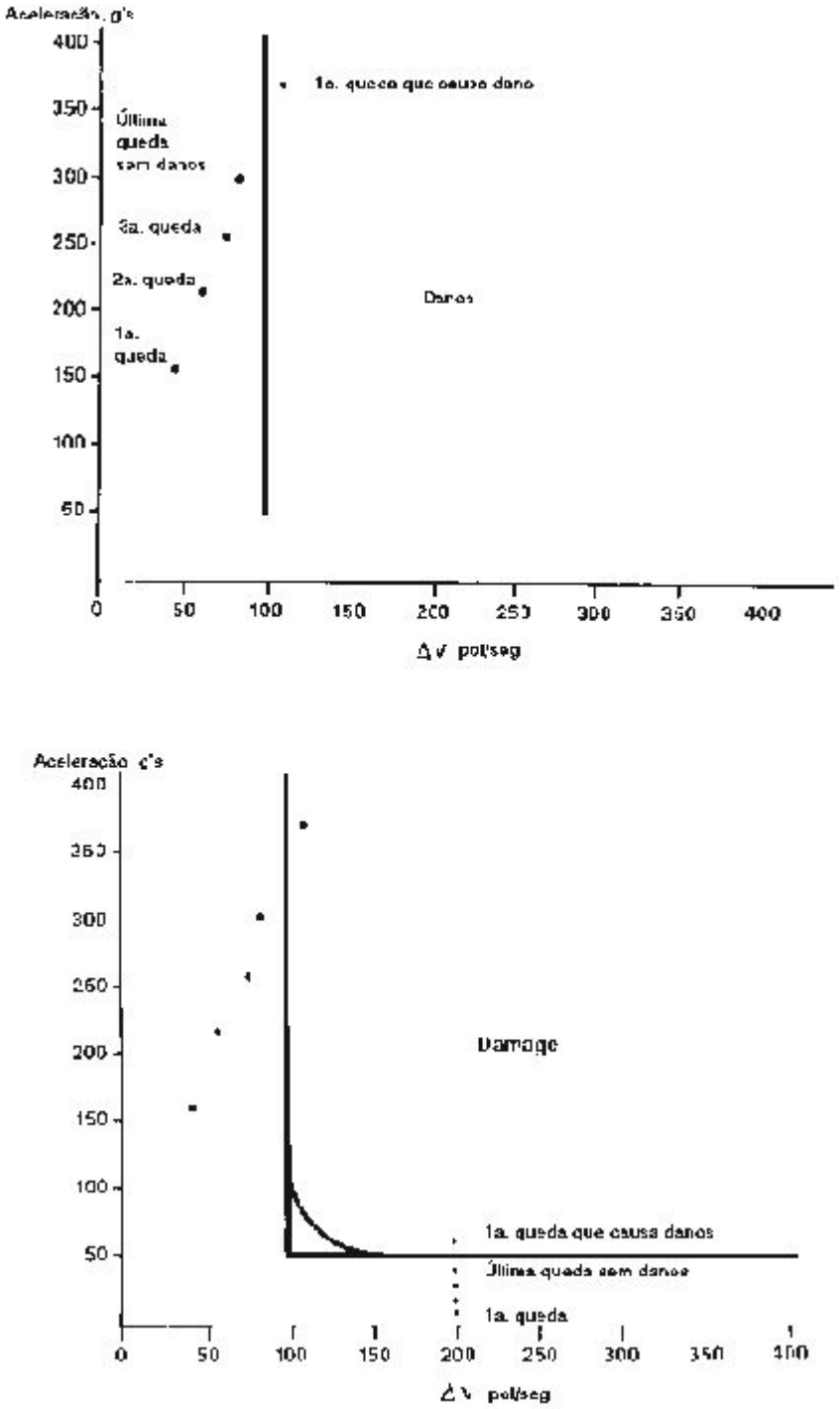

FIGURA 6. Desenvolvimento da curva-limite de danos.

Para determinação da linha-limite de aceleração, um novo corpo-de-prova deve ser fixado à mesa de choque. A altura de queda é fixada em um nível que produzirá ao menos 1,6 vezes a velocidade crítica. Se existir uma altura de queda de interesse, a mesma poderá ser simulada pelo equipamento. A pressão do gás programador é ajustada para produzir um choque com baixo nível de aceleração, menor que o nível que causa danos ao produto. Como já descrito, uma primeira queda é efetuada e o produto examinado. Se não ocorreram danos, a pressão do programador é aumentada para gerar um nível de aceleração de impacto maior, a partir de uma mesma altura de queda. Outra queda é efetuada e o produto examinado. O procedimento é repetido com o gradual aumento nos níveis de aceleração até que ocorram danos no produto. Este nível estabelece o nível da

ISSN 0104 - 3781
VOL. 8- N°4
JULHO / AGOSTO - 1996

linha horizontal na curva-limite de dano. A linha-limite se situa entre a última queda sem danos e a primeira que causou danos.

A curva-limite de danos pode ser construída pela conexão da reta-limite de velocidade vertical com a reta-limite de aceleração horizontal. O encontro das duas retas é, na realidade, arredondado e não quadrado; entretanto, na maioria dos casos, este canto arredondado não se situa na faixa de interesse e a aproximação a ângulo reto pode ser efetuada. Caso o canto se situe na faixa de interesse, a forma precisa da curva é estabelecida matematicamente ou por meio de ensaios adicionais na área. Na Figura 6b é esquematizada uma curva-limite de dano típica construída por este método.

A partir de um gráfico para limite de danos, dois aspectos devem ser destacados:

1. Se a variação de velocidade a que o conjunto produto/embalagem será submetido, na prática, for menor do que a velocidade crítica, não é necessário nenhum acolchoamento para proteção contra choques;

2. Se a variação de velocidade a que o conjunto produto/embalagem será submetido, na prática, for maior do que a velocidade crítica, um acolchoamento deve ser especificado, de modo a transmitir menos aceleração do que a nível crítico.

Na maioria dos casos, quando um produto sofrer impacto em qualquer um de seus lados, os ensaios devem resultar em cada uma das direções de cada um dos 3 eixos, estabelecendo um total de 6 curvas-limites de danos.

O Quadro 1 apresenta uma relação de produtos e suas acelerações críticas típicas. Portanto, no caso de desconhecimento da fragilidade de um determinado produto, na existência de um similar em tabelas como o do Quadro abaixo, os dados podem ser utilizados.

QUADRO 1. Alguns produtos e suas acelerações típicas.

Extremely FragileAircraft altimeters, Winchester hard disc drives	15-25G's
Very DelicateMedical d iagnostic apparatus, X-ray equipment	25-40G's
DelicateComputer display terminals and printers, electric typewriters,cash registers	40-60G's
Moderately DelicateStereos and television receivers,floppy disc drives	60-85G's
Moderately RuggedMajor appliances and furniture	85-115G's
RuggedTable saws, sewing machines, machine tools	115G's and up

Fonte: Dow Chemical Company

Caso o produto de interesse não pertença à lista acima, o CETEA possui capacidade para levantar as curvas-limite de danos com tecnologia atualizada e equipamentos de última geração.