

RIGIDEZ EM FLEXÃO DO PAPELÃO ONDULADO

Anna Lúcia Mourad

O Brasil por sua dimensão continental e diversidade possui exigências peculiares quanto às embalagens de transporte e distribuição. A correta especificação dessas embalagens traz vantagens econômicas pela redução de perdas dos produtos e melhor aproveitamento de espaços de estocagem e distribuição. As embalagens de papelão ondulado representam aproximadamente 80% das embalagens de transporte no Brasil.

O crescente custo dos espaços de armazenagem tem levado as empresas nos últimos anos, a utilizarem alturas de empilhamento cada vez maiores, aplicando, assim, esforços de compressão bastante elevados nas caixas de transporte, tornando obrigatória a correta especificação desses materiais para evitar desmoronamento do empilhamento e conseqüente perdas de produtos.

A resistência à compressão de uma caixa de papel ondulado é importante tanto como uma indicação parcial de sua resistência estática ao empilhamento como para uma medida da qualidade do material e da eficiência de processo.

As laterais e as testeiras de uma parede com as ondas na vertical, de uma caixa tipo 0201, abaulam quando submetidas à compressão vertical. O abaulamento dos painéis limita sua capacidade de suportar carga na região central. As regiões próximas aos cantos verticais, por outro lado, permanecem essencialmente planas e por isso são capazes de resistir a cargas mais elevadas. Estas diferenças na capacidade de resistir a cargas ao longo da caixa está ilustrado na Figura 1.

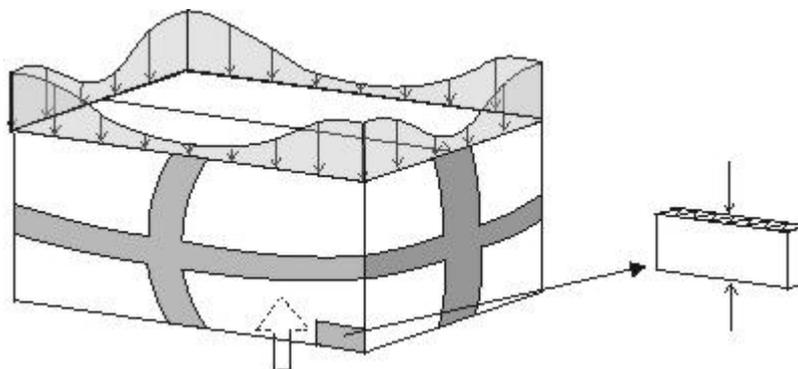


FIGURA 1. Distribuição esquemática da carga de compressão no perímetro de uma caixa.

Resistência à compressão com carga aplicada pelo topo de uma onda vertical depende grandemente da resistência à compressão de parede do papelão ondulado na direção transversal à fabricação e considerável extensão à rigidez em flexão nas direções de fabricação e transversal. Rigidez em flexão é a capacidade de resistir ao abaulamento. Diferenças na resistência à compressão de caixas com ondas A, B e C, são devido

principalmente às diferenças de rigidez em flexão destas estruturas. Rigidez em flexão depende primeiramente do módulo de elasticidade (E) e qualidade das capas e do quadrado da altura da onda. Métodos de determinação de rigidez de papelão ondulado por meio de balança são comumente utilizados.

O ensaio comumente usado de força aplicada a um ponto do corpo de prova subestima o valor verdadeiro de rigidez por causa do efeito de cisalhamento, embora possa ser aplicada uma correção testando em dois diferentes intervalos de tempo.

Um corpo de prova forçado em 4 pontos (Figura 2), por outro lado, não sofre a influência de cisalhamento e por isso permite a medida direta da rigidez em flexão.

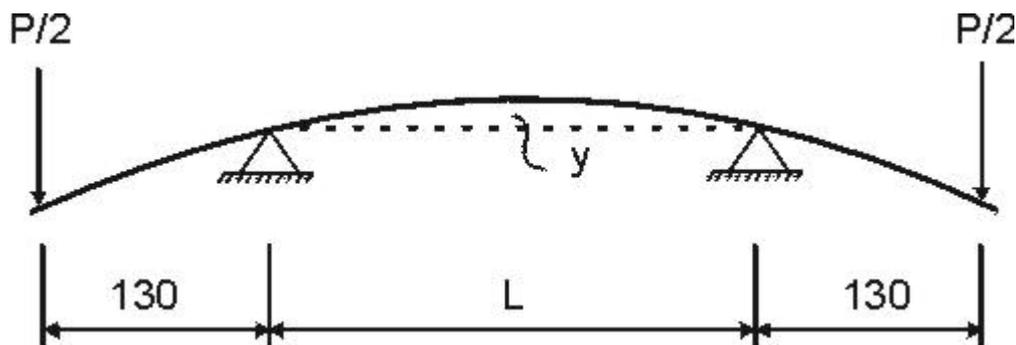


FIGURA 2. Esquema do sistema utilizado para medir a rigidez em flexão em 4 pontos.

Neste arranjo, a rigidez é calculada utilizando-se a seguinte equação

$$D = \frac{E \cdot I}{w} = \frac{P/2 \cdot 0,13 \cdot L^2}{4 \cdot 2 \cdot y \cdot w} \text{ (Nm)}$$

Onde:

E = módulo de elasticidade

I = momento de inércia da seção transversal

D = rigidez em flexão (Nm)

$P/2$ = força aplicada em cada braço (N)

L = distância livre entre as presilhas de fixação (m)

y = deslocamento devido à flexão (metros)

w = largura do corpo de prova (m)

Quanto maior a rigidez em flexão, maior a carga necessária para produzir uma dada deflexão. Se a balança consiste de um material que possui propriedades idênticas de tensão e compressão, a rigidez em flexão é igual ao módulo de elasticidade do material multiplicado pelo momento de inércia da seção transversal da balança.

Valores elevados de rigidez em flexão do papelão ondulado podem ser obtidos basicamente por duas formas:

- Usando-se capas que tenham um alto módulo de elasticidade em tensão e compressão e alta espessura.
- Mantendo a espessura do papelão ondulado tanto maior quanto possível. Com componentes idênticos, uma onda A tem uma rigidez em flexão significativamente maior que uma onda B, em função das diferentes espessuras. Operações de conversão como impressão que podem diminuir a espessura por amassamento abaxam sua rigidez em flexão potencial.

Quando se tem uma caixa de papelão ondulado, sem reforços e sem parede telescópica, é possível encontrar uma correlação entre a resistência da caixa determinada num ensaio de compressão e certas propriedades do papelão. Em 1963, no Institute of Paper Chemistry, McKee e colaboradores demonstraram haver uma correlação entre a resistência à compressão da caixa com a rigidez e a resistência à compressão de coluna do papelão ondulado, expressa pela fórmula abaixo, conhecida como fórmula completa de McKee:

$$R_c = 2,028 \cdot C^{0,746} \cdot \left(\sqrt{D_x D_y} \right)^{0,254} \cdot Z^{0,492}$$

Onde:

R_c = resistência à compressão da caixa (kgf)

C = resistência à compressão de coluna do papelão ondulado (kgf/cm)

D_x = Rigidez do papelão ondulado perpendicular às ondas (kgf.cm)

D_y = Rigidez do papelão ondulado na direção das ondas (kgf.cm)

Z = Perímetro da caixa (cm)

A constante 2,028 e os demais expoentes são constantes experimentais.

A rigidez em flexão na direção de fabricação é várias vezes maior que na direção transversal, embora ambas sejam importantes na compressão da caixa.

Durante estudos de compressão da caixa, encontrou-se uma correlação entre o material e as propriedades geométricas do papelão ondulado, que permitem uma simplificação da fórmula acima. Embora a correlação não seja a ideal, ela é suficientemente boa para simplificação da equação. A equação, conhecida como fórmula simplificada de McKee, é:

$$R_c = 1,86C\sqrt{e} \cdot Z$$

Onde:

R_c = resistência à compressão da caixa (kgf)

C = resistência à compressão de coluna do papelão ondulado (kgf/cm)

e = espessura da parede do papelão ondulado (mm)

Z = Perímetro da caixa (cm)

Embora, esta simplificação reduza a precisão, a equação citada anteriormente é bastante atrativa para estimar a resistência à compressão da caixa, porque elimina a necessidade da medida da rigidez em flexão do papelão ondulado. Entretanto, alterações no processo de confecção das caixas, tais como esmagamento da onda, inclinação das ondas e adesão ruim entre capas e ondas, podem afetar as correlações utilizadas e, desta forma, invalidar as equações acima.

EQUIPAMENTO ADQUIRIDO

O CETEA adquiriu recentemente o Medidor de Rigidez pelo método de 4 pontos, da Lorentzen & Wettre. O equipamento está acoplado a computador e mede a rigidez em flexão de papelões com até 16mm de espessura. Testes iniciais utilizando as fórmulas completa e simplificada de McKee para estimar a resistência à compressão de caixas tipo 0201 (normal) mostraram os seguintes resultados:

| Tipo de caixa | Compressão da caixa (kgf) | | |
|---------------|---------------------------|--|-----------------------|
| | Fórmula simplificada | Fórmula completa (a partir da rigidez) | Medida no laboratório |
| II | 461 | 413 | 408 |
| III | 370 | 416 | 468 |

Como pode ser observado, os valores calculados através da rigidez aproximam-se mais dos valores medidos através da compressão da caixa.

Estimativas melhores poderão ser realizadas ao se determinar os valores das constantes experimentais da fórmula completa com os papelões atualmente produzidos pelas empresas fabricantes de papelão ondulado do Brasil.

O CETEA vem, assim, divulgar a aquisição do novo equipamento e colocar à disposição das empresas interessadas a possibilidade de quantificar esta importante propriedade do papelão ondulado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. McKee, R.C., Gander, J.W., and Wachuta, J.R. Flexural Stiffness of Corrugated Board, Institute of Paper Chemistry, Appleton, wis, **Paperboard Packaging**, p.111-118, v.47, December 1962.
2. McKee, R.C., Gander, J.W., and Wachuta, J.R. Compression Strength Formula for Corrugated Boxes. **Paperboard Packaging**, v. 48, n.8, p149-158. 1963.
3. TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY. **Flexural stiffness of corrugated board** T 820-om85. Atlanta: TAPPI, 1994. 2p.