ASPECTOS RELACIONADOS AO DESENVOLVIMENTO DE EMBALAGENS PARA DISTRIBUIÇÃO

A extrapolação de resultados obtidos em ensaios de laboratório para situações reais, quando se visa à especificação ou projeto de sistemas de engenharia, está sempre sujeita a variáveis ligadas a condições de uso nem sempre previsíveis ou reprodutíveis.

Da mesma forma, o desenvolvimento de embalagens de distribuição, com base em ensaios que reproduzam condições de compressão, choque e vibração a que normalmente são submetidas estas embalagens durante manuseio e transporte, nem sempre representa situações práticas relacionadas a variações de umidade relativa e temperatura do ambiente e tempo de estocagem, por exemplo, assim como as características inerentes ao próprio sistema, como conteúdo e tipo de empilhamento, nem sempre são consideradas.

Nesse sentido, um aspecto importante diz respeito à condição de umidade relativa do ambiente durante os ensaios e uso de caixas de papelão ondulado. Sabe-se que a adsorção-dessorção de umidade por materiais celulósicos segue a forma geral do isoterma de Langmuir, caracterizado pela ocorrência do fenômeno de histerese. Assim, conforme esquematizado na Figura 1, quando a celulose está seca ela absorve água do ambiente até alcançar o equilíbrio; se a absorção ocorrer até o ponto de saturação e a umidade relativa do ar diminuir, a celulose perde água para o ambiente até que o equilíbrio seja novamente restabelecido. Porém, os novos valores de umidade de equilíbrio para uma dada umidade relativa do ar são mais altos que os valores obtidos na curva de absorção, ou seja, se a celulose perdeu água para chegar ao equilíbrio com uma determinada umidade relativa terá teor de umidade maior do que se tivesse absorvido a umidade do ar.

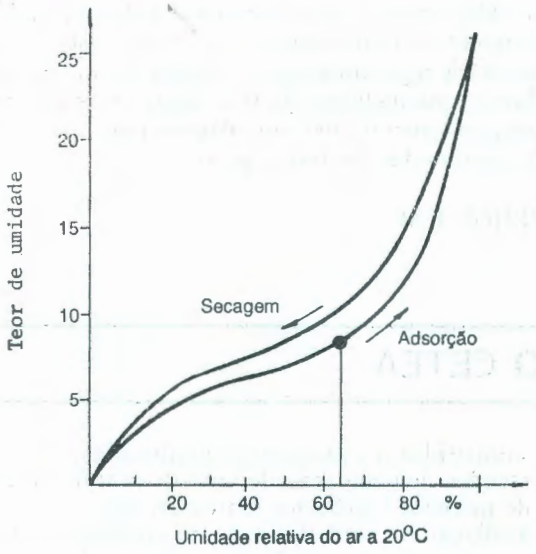

FIGURA 1. Curva de sorção de umidade da estrutura de materiais celulósicos.

Essa situação é contornada durante os ensaios de laboratório, onde a realização do pré-condicionamento seguida pelo condicionamento dos materiais para teste garantem as características da caixa de papelão ondulado com teor de umidade relativo à curva de adsorção de umidade. Se, por um lado, isto garante a realização de ensaios em condições próximas às de máxima resistência do material e permite o intercâmbio de resultados obtidos em diferentes laboratórios, por outro lado não permite a reprodução de condições reais de variações na umidade relativa do ambiente e sua influência nas características de resistência das caixas de papelão ondulado.

A título de informação, são apresentadas, no Quadro 1, as condições de condicionamento e pré-condicionamento padronizadas por diferentes órgãos.

QUADRO 1. Condições de condicionamento e pré-condicionamento padronizadas.

Órgão	Temperatura (°C)	Umidade relativa	Tempo (h)
ABNT FEFCO	20 ± 1	65 ± 2	48
ASTM ISO TAPPI	23 ± 1	50 ± 2	48
ABNT	<40	20 a 35	24
FEFCO	20 ± 30	35 ± 5	48
ASTM	20 a 40	10 a 35	24

Para se ter uma idéia da importância do condicionamento de materiais celulósicos destinados à realização de ensaios, apresenta-se, na Figura 2, o efeito da temperatura e umidade relativa sobre a resistência à compressão de caixas de papelão ondulado.

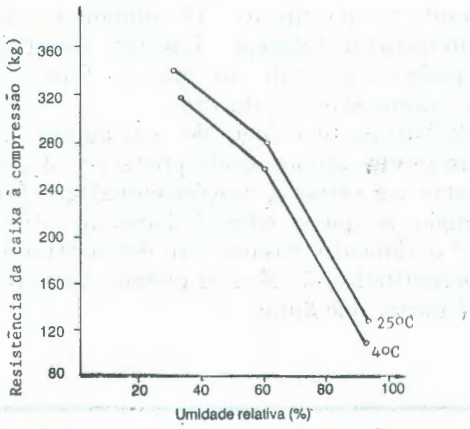

FIGURA 2. Efeito da umidade relativa e temperatura na resistência à compressão de caixas de papelão ondulado.

Uma vez que a forma usual de transporte e estocagem de embalagens de distribuição consiste nas diferentes possibilidades de empilhamento, a resistência à compressão ou, em termos práticos, a capacidade em suportar cargas estáticas, assume uma importância fundamental no desempenho destas embalagens. Esta característica da embalagem de distribuição é afetada pelo tempo de estocagem através da propriedade de fluência do material, ou seja, após a ocorrência de ajustes e deformações iniciais à aplicação da carga no empilhamento, continua a haver uma deformação que progride lentamente com o tempo. Esta situação de difícil reprodução durante o desenvolvimento de embalagens de

distribuição encontra-se esquematizada na Figura 3.

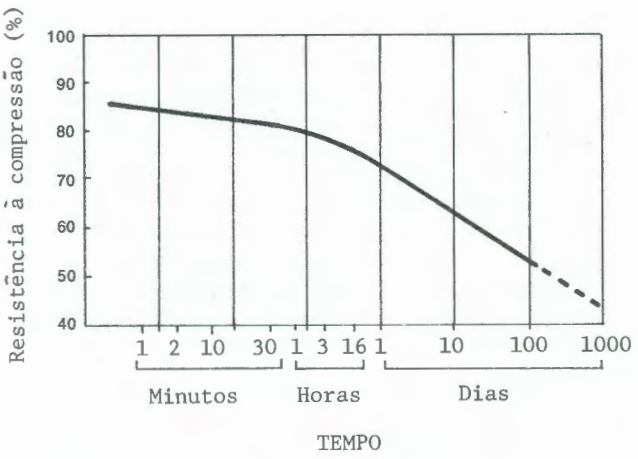

FIGURA 3. Efeito do tempo de estocagem na resistência ao empilhamento de caixas de papelão ondulado.

Por sua vez, a forma de empilhamento influencia a resistência real da embalagem; conforme verificado em estudos da caixa de papelão ondulado, sua resistência à compressão está concentrada nos cantos devido principalmente à sua própria resistência. Portanto, quando uma embalagem de papelão ondulado, ao ser empilhada sobre outra tem seus cantos coincidindo com os cantos da embalagem inferior, ou seja,quando o empilhamento for colunar, exemplificado na Figura 4a, é de se esperar que não haja perda acentuada da resistência do conjunto. Estudos práticos mostram que, em geral, essa perda é de 5%. Porém, o empilhamento colunar não é estável e, quando se busca estabilidade no empilhamento, tende-se naturalmente a um cruzamento das caixas, buscando um travamento por meio de um empilhamento cruzado, conforme exemplificado na Figura 4b. Ocorre que quando as caixas estão cruzadas não há coincidência dos cantos e é de se esperar que, neste caso a perda da resistência seja maior. Este fato é comprovado na prática, sendo que essa perda pode chegar a 50% de resistência.

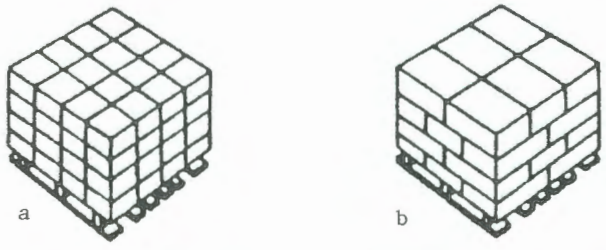

FIGURA 4.Tipos e empilhamento: (a) colunar e (b) cruzado.

Outra ocorrência muito comum em empilhamentos é a sobra no pallet ou estrados de armazéns. Essa sobra em geral é fruto de embalagens de distribuição mal dimensionadas geometricamente e portanto, não modulares ao pallet ou ao estrado, isto é, sua dimensão externa não é um múltiplo inteiro da dimensão do pallet (para um bom empilhamento uma embalagem deve ter seu comprimento e largura múltiplos do comprimento e da largura do pallet a ser utilizado). A situação de sobra no pallet pode ser responsável pela perda de 5% a 35% da resistência global do conjunto das embalagens no pallet.

Uma forma bastante útil para combinar a maior resistência do empilhamento cruzado é um empilhamento misto, onde as embalagens inferiores, que estão sujeitas a uma maior força de compressão, estão empilhadas colunarmente e as superiores, que não necessitam de maior resistência, estão empilhadas em forma cruzada, contribuindo sobremaneira para um bom travamento da carga. Para tanto é fundamental um bom planejamento geométrico das embalagens de distribuição em relação às dimensões do pallet a ser utilizado.

Outras condições relacionadas ao tipo de manuseio e transporte e características do conteúdo nem sempre são consideradas durante a especificação de uma embalagem de distribuição. Assim, é importante classificar se as condições de manuseio e transporte são normais, isto é, executadas por meio de equipamentos adequados, ou são extremas, ou seja, se o sistema pode estar sujeito à ocorrência de quedas e impactos inerentes a condições inadequadas, como as de operação manual. Da mesma forma é importante considerar se o conteúdo contribuirá para o aumento da resistência à compressão do sistema, como ocorre, por exemplo, com o acondicionamento em caixas de papelão de produtos contidos em cartuchos de cartão como embalagem primária, ou se, ao contrário, consiste de um produto frágil, incapaz de suportar cargas durante o empilhamento.

Ao longo dos anos toda essa abordagem tem merecido atenção dos técnicos envolvidos com o desenvolvimento e avaliação do desempenho de embalagens para distribuição. A experiência adquirida por pesquisadores de institutos de todo o mundo com os quais o CETEA mantém um intercâmbio, assim como a experiência dos técnicos do CETEA nesta área encontram-se compiladas no Quadro 2, onde se apresenta, de forma resumida, a influência dos parâmetros discutidos nesse artigo na resistência à compressão de caixas de papelão ondulado, sendo indicada a percentagem de resistência restante a partir da resistência obtida em laboratório em cada condição descrita.

QUADRO 2. Influência da umidade relativa, tempo de estocagem, formas de empilhamento, condições de manuseio e transporte e característica do conteúdo na resistência à compressão de caixas de papelão ondulado.

	Parâmetro	Resistência à compressão restante (%)
1.	**Umidade relativa**	
	50%	114
	65%	100
	75%	91
	90%	57
	90% e 5%	51
2.	**Tempo de estocagem**	
	Uma semana	65
	Um mês	60
	Três meses	55
	Um ano	50
3.	**Formas de empilhamento**	
	Colunar	95
	Colunar e sobras no pallet	90 a 60
	Cruzado e sobras no pallet	50
	Cruzado 90 graus e sobras	48 a 40
4.	**Manuseio e transporte**	
	Normal	80
	Extremo	60
5.	**Característica do conteúdo**	
	Capaz de suportar carga	130
	Incapaz de suportar carga	100

GARCIA, A.E. FARIA, E.V.