
EFEITO DA UMIDADE CÍCLICA NO DESEMPENHO FÍSICO-MECÂNICO DE EMBALAGENS DE PAPELÃO ONDULADO

A falta de conhecimento do que ocorre com o papelão ondulado, quando exposto a ambientes sem controle de umidade relativa tem levado, em muitos casos, a um superdimensionamento das caixas através do uso de fatores de segurança mais altos que o necessário. O aumento desse conhecimento levaria a uma melhor adequação dos coeficientes de segurança com conseqüente redução de custo.

Pela importância das caixas de papelão

ondulado como embalagem de transporte e distribuição vários pesquisadores têm se dedicado em otimizar o seu desenvolvimento com base na sua resistência ao empilhamento.

Em 1963, McKEE *et al.* desenvolveram uma equação que correlacionava a resistência à compressão da caixa com a resistência a compressão de coluna de papelão ondulado. A fórmula de McKEE mundialmente utilizada tem algumas limitações

principalmente em relação à otimização dos componentes da estrutura e ao fato de estar restrita à metodologia e condições de ensaio que foi proposta.

Em 1979, JOHNSON *et al.* deram um passo adiante e desenvolveram uma equação que correlacionava a compressão das caixas de papelão ondulado com a resistência à compressão dos componentes da estrutura de papelão ondulado. O resultado de seus trabalhos apresentou uma boa correlação com o de McKEE, com a vantagem de poder incorporar ao modelo matemático desenvolvido diferentes elementos, o que permitiu prever o desempenho de caixas de papelão ondulado de parede múltipla. URBANIK, em 1981, incluiu nesse modelo as informações obtidas na curva de força X deformação (stress X strain) de cada componente da estrutura, escrevendo um programa computacional para gerenciar todas as informações e prever com sucesso o desempenho do papelão ondulado a partir da análise de seus constituintes.

Pesquisas publicadas pelo Forest Products Laboratory (FPL), instituto mundialmente reconhecido por seus trabalhos na área de materiais celulósicos, indicam o ensaio de fluência (creep test) como o que melhor se correlaciona com o desempenho de caixas de papelão ondulado quanto à resistência ao empilhamento. De acordo com o FPL, quando o papelão ondulado é submetido à força de compressão, obtém-se uma curva de deformação com o tempo como a apresentada na Figura 1.

Nesta curva distinguem-se três regiões:

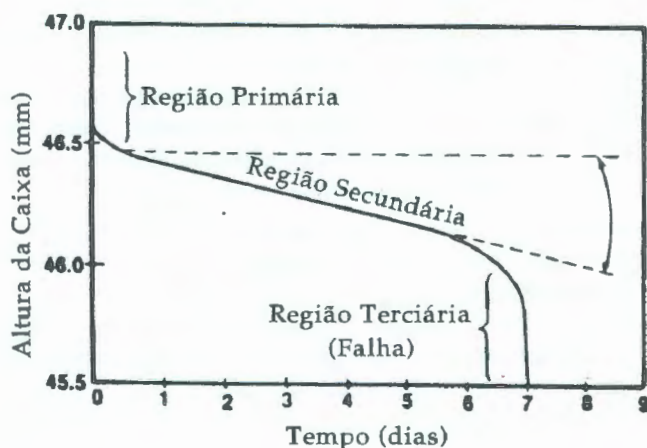


FIGURA 1. Curva de deformação versus tempo para caixas de papelão ondulado submetidas à compressão.

- 1. Região primária:** na qual há uma rápida deformação produzida pela carga colocada em cima da caixa;
- 2. Região secundária:** que apresenta uma deformação gradual e constante durante um certo período de tempo que precede o ponto de falha;
- 3. Região terciária:** na qual há uma rápida deformação seguida pelo colapso da caixa.

A deformação gradual na região secundária ocorre a uma velocidade bem menor que a que ocorre nas outras regiões. O gradiente da reta obtida nessa região é utilizado para prever o tempo necessário para ocorrer o colapso da caixa de papelão ondulado, sem que haja necessidade de esperar que este ocorra.

Entretanto, pesquisas recentes comparando o desempenho do papelão ondulado na prática com qualquer um dos ensaios mencionados realizados em condições constantes de umidade relativa têm apresentado diferenças entre os dois resultados. A resposta parece ser o **efeito da umidade cíclica** que ocorre normalmente nas condições de estocagem e distribuição.

Uma das primeiras evidências da importância do estudo do desempenho de materiais celulósicos em condições de umidade cíclica foi o resultado das investigações realizadas por ARMSTRONG & CHRISTENSEN em 1960, que demonstraram que a flexão de chapas de madeira era fortemente acelerada em ambientes com umidade cíclica.

O primeiro trabalho realizado com papel foi em 1972 quando BYRD demonstrou que amostras submetidas a condições cíclicas de umidade apresentavam uma fluência (creep rate) muito maior que as ensaiadas em condições constantes de umidade, com colapso muito mais freqüente.

Mais tarde esse mesmo autor demonstrou que papéis reciclados e papéis fabricados a partir de polpa mecânica apresentavam maior deformação com o tempo, quando submetidos a uma carga vertical, do que os papéis virgens e os fabricados a partir de polpa química. Essa diferença só foi evidente em testes realizados em condições de umidade cíclica.

A explicação para esse fato foi atribuída ao comportamento de mecano-sorção do material, ou seja, a interação entre a sorção (ganho e perda) de umidade do material e a sua capacidade de deformação quando uma força é aplicada ao mesmo. Esse efeito é encontrado em todas as madeiras e seus

produtos e não pode ser previsto pela sobreposição dos dois comportamentos separados. Essa interação leva os materiais a falharem mais rapidamente em ambientes com umidade cíclica.

Se as mudanças no ambiente ocorrerem sem que o material esteja sujeito a uma carga, essas mudanças não terão efeito permanente no desempenho de caixas ou seja se convenientemente pré-condicionadas e condicionadas antes do ensaio terão o mesmo valor de resistência à compressão original. Se, entretanto, ocorrerem enquanto as caixas estiverem sob aplicação de força há um aumento da tensão exercida sobre os componentes do papelão e nos pontos de colagem entre capas e ondas, causando um acréscimo na fluência da estrutura. À medida que o material tenta equilibrar-se com o ambiente enquanto sob tensão, ocorre um "enfraquecimento" permanente e irreversível de suas propriedades. Esse processo não apenas acelera o "enfraquecimento" do material como tem auxiliado a revelar diferenças no desempenho de algumas estruturas, que não aparecem nos ensaios dinâmicos ou estáticos realizados em condições-padrões.

Com base nos trabalhos realizados até o momento, pode-se afirmar que:

1. O tempo que as caixas de papelão ondulado suportam o empilhamento é menor em ambientes com umidade cíclica que em ambientes com umidade constante, para as mesmas condições de temperatura.
2. A resistência ao empilhamento (tempo de colapso) é negativamente influenciada por ciclos longos de variação de umidade, ou seja, ciclos curtos como os que ocorrem durante o dia têm um efeito menor do que ciclos longos como os que ocorrem nas mudanças de clima.
3. A magnitude das variações do teor de umidade e, portanto, a velocidade com que o material absorve ou perde água tem grande influência na resistência ao empilhamento de caixas de papelão ondulado. Quanto maior a magnitude da variação de umidade menor a resistência ao empilhamento.
4. Mais importante, a diminuição da resistência do empilhamento em condições de umidade cíclica não é apenas um fenômeno induzido

em laboratório; ele ocorre nas situações reais de transporte e distribuição.

Hoje, embora ainda não exista um modelo matemático que correlacione a fluência do material com o desempenho de caixas de papelão no empilhamento, os ensaios de fluência realizados em ambientes de umidade cíclica são os que melhor fornecem informações a respeito do desempenho do papelão ondulado na prática.

Pela complexidade e tempo envolvidos na determinação da fluência dos materiais celulósicos têm-se buscado ensaios mais simples e que se correlacionem com a fluência desses materiais. A higroexpansividade do material, que é definida como a diferença entre a máxima deformação ocorrida quando o material é exposto a 90% UR e a mínima deformação que ocorre quando este é exposto a 30% UR, é o que tem apresentado melhores resultados.

A determinação da higroexpansividade do material é relativamente simples em comparação com os ensaios de fluência e facilmente entendida pelos fabricantes e usuários de papelão ondulado e tem mostrado estar diretamente relacionada com a fluência dos materiais. Entretanto mais estudos devem ser realizados para comprovar essa relação.

O CETEA tem acompanhado de perto esses desenvolvimentos e estará recebendo de 09 de março a 15 de abril próximo o Dr. Thomas J. Urbanik, do Forest Products Laboratory, Madison, WI, USA para consultoria nessa área.

LITERATURA CONSULTADA

- 1) Armstrong, I.d., Cristensen, G.N. - Influence of Moisture Changes on Creep in Wood, *Nature* n.191, p.869, 1961.
- 2) Byrd, V.L., Effect of Relative Humidity Changes on Compressive Creep Response of Paper, *Journal Tappi*, v.55, n.11, p.1612-1613, 1972.
- 3) Johnson, M.W. URBANIK, T.J., Denniston, W.E. **Optimum fiber distribution in singlewall corrugated fiberboard**. Madison: US Department of Agriculture Forest Service, 1979. 40P (FPL Research paper 348).
- 4) McKee, R.C., Gander, J.W., Wachuta, J.R. - **Compression Strength Formula for Corrugated Boxes, Paperboard Packaging**. Inst. Appleton Paper Chemistry, 1963.
- 5) URBANIK, T.J. **Effect of paperboard stress - strain characteristics on strength of singlewall corrugated fiberboard: a theoretical approach**. Madison: U.S. Department of Agriculture - Forest Service, 1981. 15p.

ARDITO, E.F.G.