

CRITÉRIO DE RESISTÊNCIA PARA PAPELÃO ONDULADO SOB CARREGAMENTO DE LONGA DURAÇÃO

CARVALHO, M.

O método de ensaio convencional para determinação do tempo de empilhamento de caixas de papelão ondulado sob um nível de carga fixado não prevê adequadamente um carregamento de segurança quando o tempo é fixado. Thomas Urbanik propõe neste trabalho um método de ensaio para prever a performance do papelão ondulado sob carregamento de longa duração em ambientes onde a umidade relativa não é controlada. É levada em conta a variabilidade do material, parâmetro relevante quando se trata de papelão ondulado feito a partir de material reciclado ou de papelão ondulado de alto desempenho.

Caixas de papelão quando empilhadas durante longo períodos podem falhar com um carregamento muito abaixo da resistência estimada a partir do ensaio de compressão dinâmica. Trabalhos já mostraram que o ensaio de fluência de papelão ondulado em um ambiente de umidade relativa cíclica pode detectar diferenças entre materiais que não são evidentes em um ensaio em condições constantes. Isso destaca a necessidade de quantificar a resistência de caixas armazenadas em diferentes ambientes.

Há dois tipos de critérios de resistência que podem ser aplicados para determinar a resistência de materiais celulósicos: se o peso aplicado sobre a camada inferior é fixado, escolhe-se um material que maximize o tempo de empilhamento. Já se o tempo de empilhamento é dado, escolhe-se um material que garanta o maior coeficiente de segurança. Como há uma variabilidade inerente dos fatores que afetam a resistência do material, cada critério pode classificar um conjunto de materiais em uma ordem diferente.

O método convencional para determinação da vida de empilhamento de caixas submete corpos-de-prova do mesmo tipo a um carregamento constante até a falha. Nesse tipo de teste, observa-se que o logaritmo do tempo até a falha é normalmente distribuído.

O carregamento de segurança para um dado tempo de empilhamento aumenta quando a variabilidade do material diminui. Disso se faz necessário levar em conta a variabilidade dos materiais, evidenciada principalmente por ensaios conduzidos em ambientes de umidade cíclica, para avaliar, por exemplo, papelão ondulado reciclado e papelão ondulado de alto desempenho.

Métodos convencionais de regressão estatística são capazes de transformar um conjunto de medições em uma distribuição de previsões de resultados. Em uma distribuição normal do logaritmo do tempo até a falha, tomou-se como critério de resistência o quinto percentil, isto é, o tempo de carregamento onde apenas 5% das amostras falharam.

Foram selecionados dois materiais, usados na fabricação de uma mesma caixa, para serem comparados. O material A, retirado da tampa da caixa, era composto de onda tipo

C com capas de 220g/m² e miolo de 115g/m². O material B, retirado do corpo da caixa, também onda C, era composto de capas de 200 e 290g/m² e miolo de 160g/m². Os materiais foram condicionados a 50%U.R. antes de serem submetidos aos ensaios.

Os dois materiais foram caracterizados por três métodos: o ensaio de resistência à compressão de coluna, uma adaptação do ensaio estático de fluência de caixas sob carregamento constante e o ensaio de nível carregamento seguro proposto por esse estudo.

Os corpos-de-prova para os três ensaios foram cortados nas dimensões 51mm x 38mm, com a dimensão menor paralela às ondas do material, e reforçados com parafina de acordo com a norma TAPPI 811 om-88.

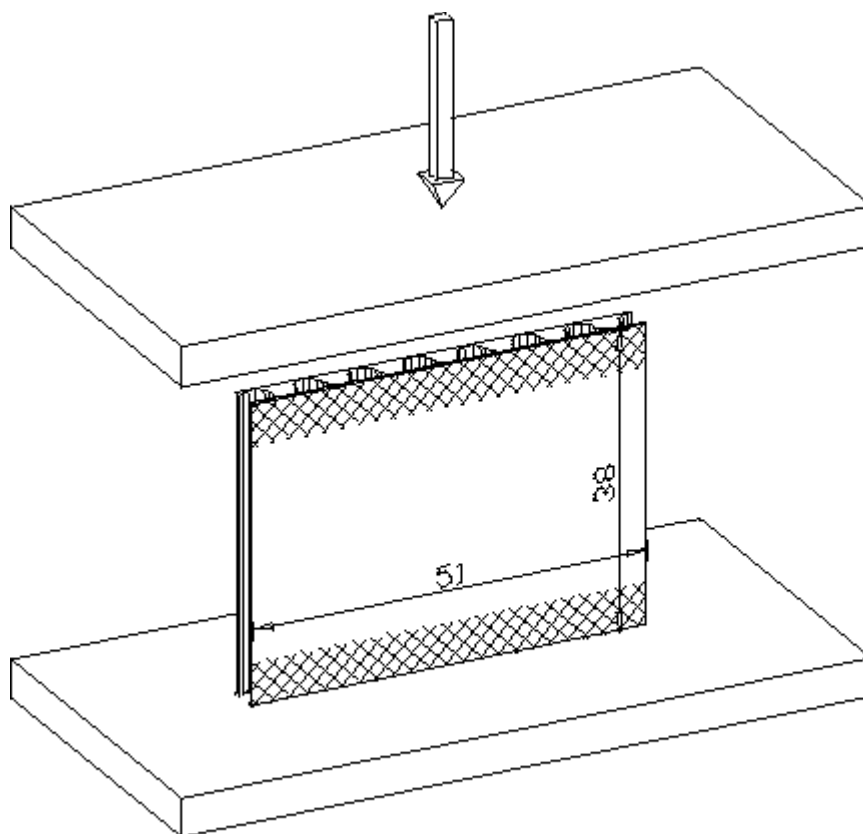


FIGURA 1. Corpo-de-prova empregado nos ensaios.

As condições do ensaio de resistência à compressão de coluna foram 23°C e 50%U.R. Os resultados desse ensaio determinaram os parâmetros empregados nos demais.

No ensaio sob carga constante, foi usada carga de 1,40 kN/m em uma câmara com umidade relativa oscilando senoidalmente entre 39% e 93% em períodos de 6 horas, enquanto a temperatura foi mantida constante em 23°C. Todos os corpos-de-prova foram testados no mesmo ambiente ao mesmo tempo.

No ensaio proposto, os corpos-de-prova foram submetidos a 4 cargas diferentes para cada material. Os carregamentos foram 0,70, 0,88, 1,05 e 1,23 kN/m para o material A e 1,05, 1,23, 1,40 e 1,58 kN/m para o material B. A umidade relativa variou senoidalmente entre 38% e 100% em períodos de 6 horas.

A média da resistência à compressão de coluna do material A foi de 9,10 kN/m e do material B, de 11,8 kN/m (30% mais resistente do que o material A). No Quadro 1 estão apresentados outros parâmetros estatísticos para a comparação com os outros métodos de ensaio.

QUADRO 1. Resistência e estimativa de vida de empilhamento de dois materiais caracterizados por três métodos.

	Material A			Material B		
	Média	Desvio-padrão	Limite inferior de 5%	Média	Desvio-padrão	Limite inferior de 5%
Resistência à compressão de coluna (kN/m)	9,10	0,520	8,18	11,8	0,497	10,9
Logarítmo do tempo até a falha a 1,40kN/m	3,59	0,216	3,2	5,20	0,249	4,76
Tempo até a falha a 1,40kN/m (h) (*)	36,2	1,24	24,5	181	1,28	117
Resistência a compressão após 48h (kN/m)	0,924	—	0,647	1,52	—	1,39

(*) A média, o desvio-padrão e o limite inferior de 5% da distribuição foram calculados para o logaritmo do tempo até a falha e depois convertidos de volta para unidades de tempo.

Os tempos de falha de 11 corpos-de-prova do material A com carregamento de 1,40 kN/m foram 27,1, 27,4, 33,0, 33,0, 33,3, 38,8, 39,4, 40,5, 44,6 e 56,9h. Os tempos de falha de 14 corpos-de-prova do material B com este mesmo carregamento foram 117, 135, 147, 153, 153, 159, 166, 195, 195, 213, 238, 243, 243 e 256h. O tempo correspondente à média dos logaritmos foi de 36,2h para o material A e 181h para o material B. Isso significa que o material B suportou o carregamento por um tempo 400% maior.

Dos resultados do ensaio proposto determinou-se o nível de carregamento seguro para 48h. Os carregamentos foram de 0,647kN/m para o material A e 1,39kN/m para o material B (115% acima de A). Os tempos até a falha em função do material e do carregamento estão relacionados no Quadro 2 e plotados nas Figuras 2 e 3. Nelas também estão marcados o nível de carregamento seguro dado pelo limite inferior de 5%.

QUADRO 2. Tempo até a falha variando com o carregamento para dois materiais.

Carregamento (kN/m)	Tempo até a falha (h)	
	Material A	Material B
0,701	239 - 177 - 86,8 - 32,9	
0,876	62,5 - 44,9 - 39,4	
1,05	38,9 - 38,7 - 27,2	357 - 237 - 207 - 171
1,23	26,8 - 21,3 - 21,1 - 9,18	129 - 117 - 105
1,40		87,3 - 57,0 - 45,2
1,58		51,4 - 51,0 - 39,4 - 38,6

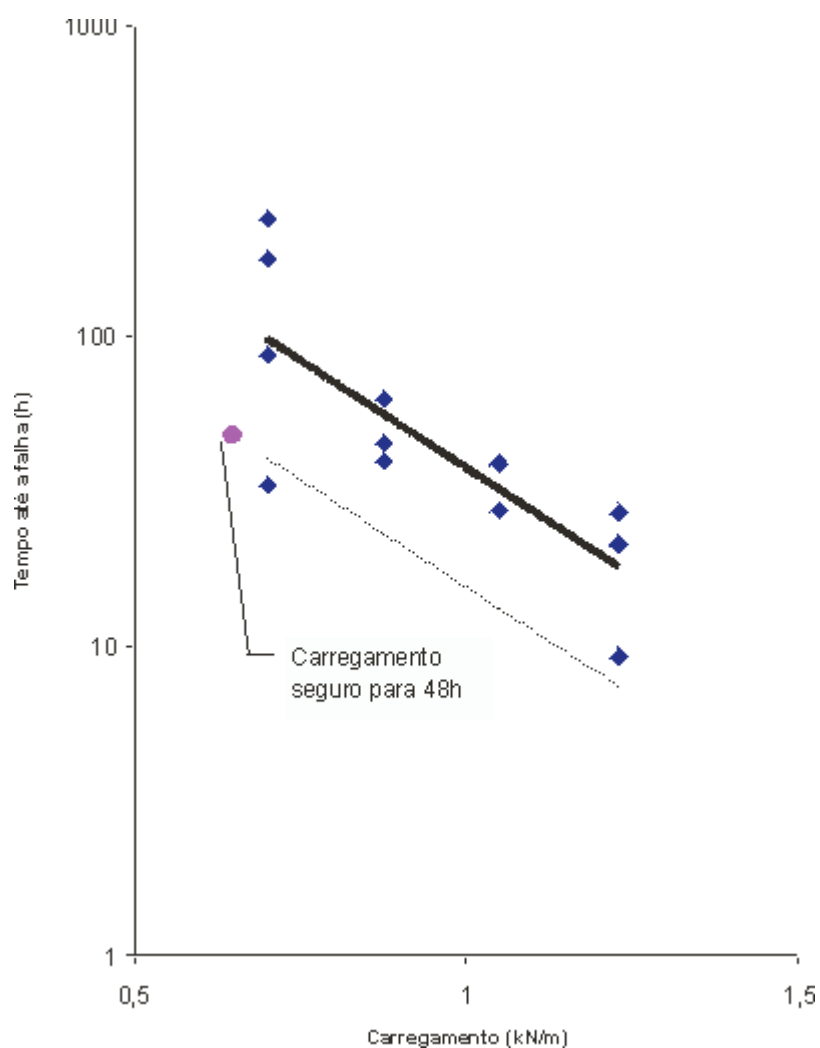


FIGURA 2. Tempo até a falha variando com o carregamento para o material A. O ponto circular representa o carregamento seguro (0,647kN/m) dado pelo limite de 5% para 48 horas, que equivale a 7% da resistência à compressão de coluna.

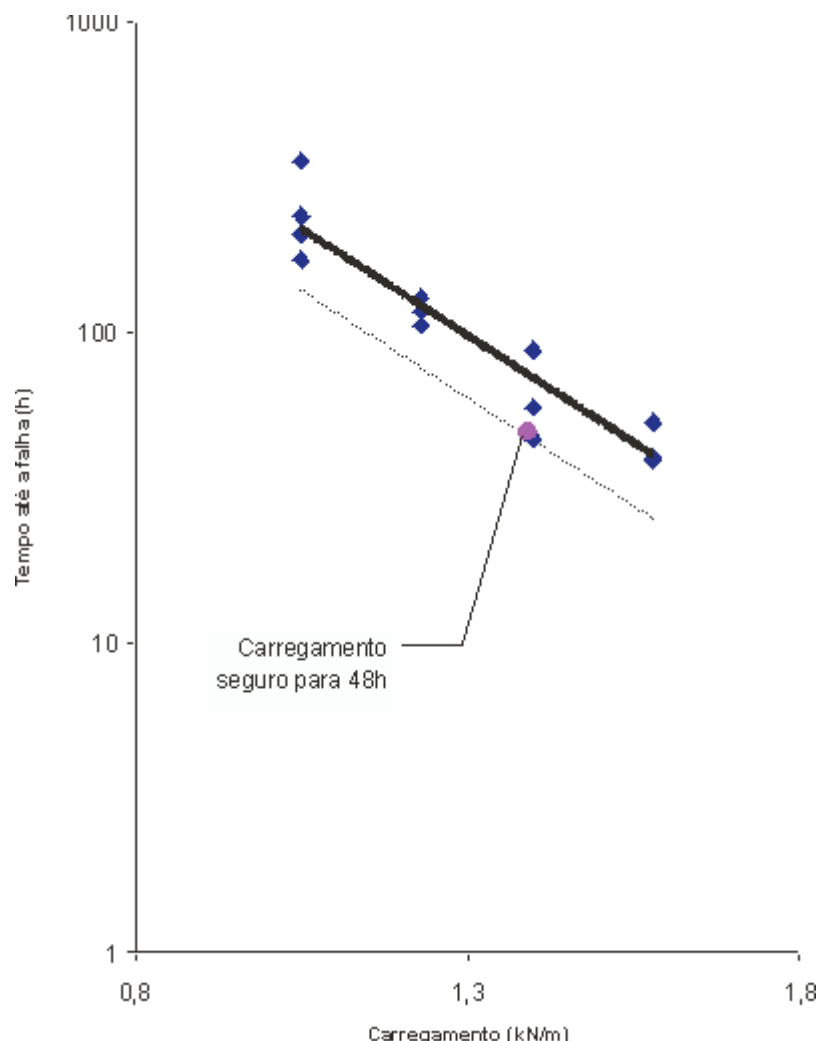


FIGURA 3. Tempo até a falha variando com o carregamento para o material B. O ponto circular representa o carregamento seguro (1,39kN/m) dado pelo limite de 5% para 48 horas, que equivale a 11% da resistência à compressão de coluna.

A regressão linear nas Figuras 2 e 3 prevê que os materiais A e B teriam vida de 10,4 e 70,8 horas, respectivamente, para o carregamento de 1,40kN/m. O material B teria uma vida 581% maior do que o material A. Comparado com os 400% de diferença obtidos ciclagem de 39% a 93%U.R., esse novo valor mostra que a superioridade do material B se alarga quando as condições são mais severas.

Em um ensaio de resistência à compressão de coluna, o material B se mostrou 30% mais resistente do que o material A. Quando estes mesmos materiais foram submetidos a ensaio de longa duração em ambiente de umidade cíclica, a diferença entre eles chegou a 115% e, se a amplitude da umidade aumenta, a superioridade do material B também aumenta.

Os coeficientes de segurança encontrados (14 para o material A e 8,3 para o material B) são bastante altos, principalmente porque só consideram os efeitos do tempo e da

umidade relativa. Isso se deve à severidade das condições em que foram realizados os ensaios.

Deste trabalho é importante destacar que materiais que obtêm resultados equivalentes nos ensaios dinâmicos podem ter desempenhos diferentes em aplicações de longa duração e principalmente com alta umidade relativa. No Brasil, onde 70% do papelão ondulado é reciclado, encontramos papelão ondulado com diferentes teores de reciclado. É importante a implantação de uma metodologia que diferencie esses materiais em aplicações de longa duração e alta umidade.

Adaptado por M.Carvalho do original de Urbanik, T. - **“Strength criterion for corrugated fiberboard under long-term stress”**; TAPPI Journal, v.81, n.3, p33-37, 1998.