

---

## O EFEITO DE VARIAÇÕES AMBIENTAIS CÍCLICAS NA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE CAIXAS FEITAS COM PAPELÃO ONDULADO DE ALTO DESEMPENHO - PARTE II

---

### RESULTADOS E DISCUSSÃO

**Caixas com capa normal ( $336,7\text{g/m}^2$ ) versus caixas com capa com fibras de médio desempenho ( $283,1\text{g/m}^2$ )**

Na Tabela 1 são apresentadas as médias das resistências à compressão das **Caixas A** de capas normais ( $336,7\text{g/m}^2$ ) e das **Caixas B** com capas de fibras de médio desempenho ( $283,1\text{g/m}^2$ ) expostas à condição-padrão ( $23^\circ\text{C}$ , 50%UR) e as condições cíclicas de umidade relativa.

Utilizando a análise de variância, verificou-se que a resistência à compressão inicial dos dois tipos de caixas sob

condição padrão mostrou ser diferentes significativamente (limite de confiança 99%). A resistência à compressão da **Caixa B** com capas com fibras de médio desempenho foi superior em  $74,0 \pm 27,0$  Kgf da resistência à compressão da **Caixa A** com capas normais.

A perda média da resistência à compressão das caixas devido à exposição destas a condições cíclicas foi comparada utilizando-se o teste-t. Diferenças significativas entre os dois tipos de caixas foram encontradas sob às condições cíclicas I,II,III,IV. O nível de perda de resistência da **Caixa B** foi superior ao da **Caixa A**.

A diferença na resistência final à compressão foi

**TABELA 1.** Resistência à compressão das caixas na condição padrão e nas condições cíclicas de umidade relativa.

| Tipo de caixa                                                   | Condição             | Resistência à compressão (kgf) <sup>(1)</sup> | Desvio-padrão |
|-----------------------------------------------------------------|----------------------|-----------------------------------------------|---------------|
| Caixa A<br>Capa normal<br>(336,7g/m <sup>2</sup> )              | Condição padrão      | 556                                           | 35,1          |
|                                                                 | Condição cíclica I   | 469                                           | 31,7          |
|                                                                 | Condição cíclica II  | 434                                           | 34,6          |
|                                                                 | Condição cíclica III | 498                                           | 19,6          |
|                                                                 | Condição cíclica IV  | 328                                           | 13,2          |
|                                                                 | Condição cíclica V   | 545                                           | 39,1          |
| Caixa B<br>Capa de médio desempenho<br>(283,1g/m <sup>2</sup> ) | Condição padrão      | 629                                           | 28,2          |
|                                                                 | Condição cíclica I   | 502                                           | 36,6          |
|                                                                 | Condição cíclica II  | 435                                           | 29,9          |
|                                                                 | Condição cíclica III | 523                                           | 26,5          |
|                                                                 | Condição cíclica IV  | 338                                           | 25,9          |
|                                                                 | Condição cíclica V   | 594                                           | 20,4          |
| Caixa C<br>Capa normal<br>(439,4g/m <sup>2</sup> )              | Condição padrão      | 745                                           | 46,1          |
|                                                                 | Condição cíclica I   | 577                                           | 42,3          |
|                                                                 | Condição cíclica II  | 519                                           | 40,9          |
|                                                                 | Condição cíclica III | 645                                           | 42,0          |
|                                                                 | Condição cíclica IV  | 448                                           | 27,2          |
|                                                                 | Condição cíclica V   | 733                                           | 40,8          |
| Caixa D<br>Capa de alto desempenho<br>(336,7g/m <sup>2</sup> )  | Condição padrão      | 710                                           | 40,1          |
|                                                                 | Condição cíclica I   | 580                                           | 45,6          |
|                                                                 | Condição cíclica II  | 508                                           | 39,0          |
|                                                                 | Condição cíclica III | 625                                           | 82,0          |
|                                                                 | Condição cíclica IV  | 380                                           | 27,8          |
|                                                                 | Condição cíclica V   | 699                                           | 61,4          |

|                      |              |             |              |
|----------------------|--------------|-------------|--------------|
| Condição padrão      | 23°C/50%UR   |             |              |
|                      | 1º e 2º dia  | 3º e 4º dia | 5º e 6º dia  |
| Condição cíclica I   | 5°C/85%UR    | 23°C/50%UR  | 5°C/60%UR    |
| Condição cíclica II  | 37,2°C/85%UR | 23°C/85%UR  | 37,2°C/85%UR |
| Condição cíclica III | 37,2°C/85%UR | 5°C/85%UR   | 23°C/50%UR   |
| Condição cíclica IV  | 37,2°C/30%UR | 23°C/50%UR  | 5°C/85%UR    |
| Condição cíclica V   | 5°C/85%UR    | 23°C/50%UR  | 37,2°C/30%UR |

(1) média de 12 determinações

Comparada acompanhando-se a exposição da **Caixa A** e **B** sob condições cíclicas e utilizando-se também o teste-t. Uma diferença significativa (limite de confiança de 95%) foi encontrada somente para a condição cíclica I. Apesar da **Caixa B** apresentar uma maior perda de resistência que a **Caixa A** sob as todas condições cíclicas, a resistência final à compressão das duas caixas não foi significativamente diferente. Os resultados indicam que os dois tipos de caixas tiveram um desempenho similar sob todas as condições cíclicas utilizadas neste estudo, com exceção da condição cíclica I.

#### Caixas com Capa normal (439,4g/m<sup>2</sup>) versus caixas com capa com fibras de alto desempenho (336,7g/m<sup>2</sup>)

Na Tabela 1 também são apresentadas também as médias das resistências à compressão da **Caixa C** de capas normais (439,4g/m<sup>2</sup>) e da **Caixa D** de capas de fibras de alto desempenho (336,7g/m<sup>2</sup>) após a exposição destas às

condições cíclicas.

Verificou-se que a diferença entre as resistências à compressão inicial dos dois tipos de caixa sob condição padrão foi pouco significativo. Através do teste-t comparou-se a perda média de resistência à compressão após a exposição das caixas às condições cíclicas. No entanto, apenas diferenças marginais foram encontradas entre os dois tipos de caixas, quando expostas às condições cíclicas I, IV e V, não sendo encontradas diferenças significativas nas condições cíclicas II e III.

A resistência final à compressão das **Caixas C** e **D** também foi comparada utilizando-se o teste-t após a exposição destas às condições cíclicas. Não foram encontradas diferenças significativas em todas as condições cíclicas com exceção da condição V, indicando que os dois tipos de caixas tiveram um desempenho similar sob todas as condições cíclicas, com exceção da condição V.

#### Efeito das condições cíclicas

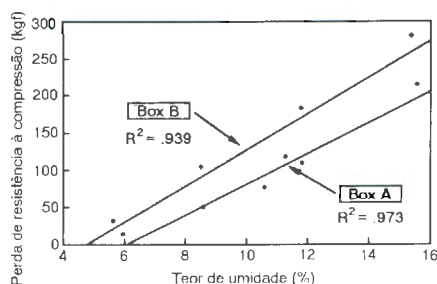
Para determinar a influência das condições cíclicas na resistência à compressão de cada tipo de caixa usou-se o Bonferroni teste - t aperfeiçoado para comparar a resistência à compressão inicial após a exposição sob a condição padrão com a resistência à compressão após a exposição sob cada condição cíclica, para os quatro tipos de caixas. Todas as condições cíclicas utilizadas neste estudo provocaram uma redução na resistência à compressão.

A maior diminuição da resistência à compressão da caixa ocorreu na condição cíclica IV. A condição final (5°C, 85%UR) provavelmente foi a que mais afetou a resistência à compressão da caixa devido à alta umidade e o efeito no teor de umidade do material. O aumento do teor de umidade causa um decréscimo nas ligações fibra-fibra, sendo que um decréscimo nestas ligações geralmente resulta numa baixa resistência à compressão, que afeta negativamente o desempenho da caixa no empilhamento.

A redução da resistência devido à exposição das caixas à condição cíclica II foi menor, apesar de estarem expostas a ambientes de elevada umidade por períodos maiores. Esta redução pode estar associada ao efeito da temperatura. Quando a umidade relativa é mantida constante, um aumento na temperatura provoca um decréscimo no teor de umidade contido no papel. Na condição cíclica II, as caixas estavam sob uma umidade elevada mas constante (85%UR) enquanto a temperatura de estocagem foi aumentada de 23°C para 37,2°C no último estágio.

As caixas expostas à condição cíclica V apresentaram a menor redução na resistência (comparada às outras condições cíclicas). Isto deve-se provavelmente ao baixo teor de umidade final encontrado no material das caixas.

O teor de umidade do material é um fator de extrema



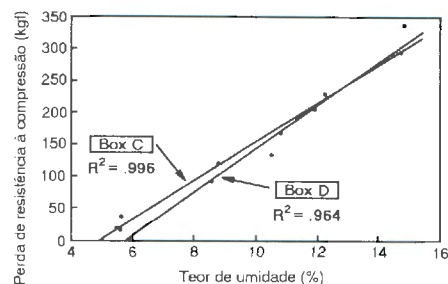
**FIGURA 1.** Relação entre a perda de resistência à compressão e o teor de umidade do material.

importância para resistência à compressão da caixa. As resistências à compressão de todas as caixas foram afetadas pelo teor de umidade final do material das caixas. A relação entre a perda de resistência e o teor de umidade do material é mostrada nas Figuras 1 e 2. O alto coeficiente de correlação demonstra que existe uma correlação linear. A resistência à compressão diminui quando o teor de umidade aumenta.

### Conclusões

A exposição de caixas sob condições cíclicas reduz a sua resistência à compressão. As caixas feitas com capas de fibras de desempenho regular ( $283,1\text{g/m}^2$ ) possuíam uma maior resistência à compressão inicial e perderam mais resistência que as caixas feitas com capas normais ( $336,7\text{g/m}^2$ ) durante a exposição às condições cíclicas estudadas.

No entanto, não se encontrou nenhuma diferença significativa entre a resistência à compressão final destes dois tipos de caixas. Como a resistência à compressão final é



**FIGURA 2.** Relação entre a perda de resistência à compressão e o teor de umidade do material.

um indicador do desempenho destas caixas no empilhamento, pode-se dizer que as caixas devem possuir um desempenho similar sob estas condições.

Verificou-se que entre as caixas feitas com capas normais ( $439,4\text{g/m}^2$ ) e as caixas feitas com capas de fibras de alto desempenho ( $336,7\text{g/m}^2$ ) houve uma diferença marginal na perda de resistência e nenhuma diferença na resistência à compressão final (com exceção da condição cíclica IV). Sendo assim, elas tiveram um desempenho similar sob as condições cíclicas estudadas.

O teor de umidade do material da caixa teve uma elevada influência na resistência à compressão, sendo este teor notadamente afetado pelas condições cíclicas.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- THE EFFECT of cyclic environments on the compression strength of boxes made from high-performance (fiber-efficient) corrugated fiberboard. *Tappi Journal*, Norcross, v.75, n.10, p.79-85, 1992.

ARDITO, E.F.G.

WITARSA, S.