

## TUBOS DE PAPELÃO PARA A FABRICAÇÃO DE PAINÉIS DE VEDAÇÃO VERTICAL: ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO EM CORPOS DE PROVA

Salado, Gerusa de Cássia<sup>(1)</sup>; Sichieri, Eduvaldo Paulo<sup>(2)</sup>

(1) Universidade de São Paulo, Instituto de Arquitetura e Urbanismo, e-mail: [gesalado@sc.usp.br](mailto:gesalado@sc.usp.br)

(2) Universidade de São Paulo, Instituto de Arquitetura e Urbanismo, e-mail: [sichieri@sc.usp.br](mailto:sichieri@sc.usp.br)

### Resumo

*Proposta: O presente trabalho tem como objetivo investigar a resistência à compressão de tubos de papelão visando a sua utilização na fabricação de painéis de vedação vertical. Método de Pesquisa/Abordagens: Foi realizado ensaio de resistência à compressão em oito corpos de prova, com 100 mm de diâmetro externo, 200 mm de comprimento e 05 mm de espessura de parede. Como não existem normas técnicas específicas para a realização deste ensaio em tubos de papelão, seguiram-se as diretrizes da NBR 5739 – Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos – Método de ensaio. Resultados: Os corpos de prova testados resistiram, em média, a 750 kgf ou 5 MPa. Os corpos de prova não romperam nem entraram em colapso, mas apenas apresentaram dobras paralelas às emendas de papel kraft, amassamento das bordas, e permaneceram em estado de deformação plástica após se atingirem as cargas máximas resistidas. Os painéis de vedação vertical de tubos de papelão foram confeccionados com elementos de mesmo diâmetro externo e espessura de parede, porém, com comprimento de 2400mm. Contribuições da Pesquisa: Os tubos de papelão são elementos de grande resistência devido ao seu formato tubular e são fabricados a partir de papel kraft reciclado, utilizando como matéria-prima resíduos de papéis descartados. O emprego de tubos de papelão na construção civil e Arquitetura contribui para a preservação ambiental, uma vez que reduz a extração de matérias-primas da natureza e reduz o volume de resíduos sólidos descartados nos aterros sanitários.*

**Palavras-chave:** Tubos de papelão; Materiais de construção reciclados; Materiais de construção sustentáveis; Resíduos na construção civil.

### Abstract

*Objective: The objective of this study was to investigate the compression resistance of paper tubes for the manufacturing of the vertical sealing panels. Methods of Research/Approach: Tests of compression resistance were realized on eight specimens with 100 mm of outer diameter, 200 mm of length and 05 mm of thickness. Due there are not specific standards to the realization of this test on paper tubes were used the determinations of the Brazilian norm NBR 5739 – Concrete – Compression test on cylindrical specimens – Method of test. Results: The specimens tested resisted to 750 kgf or 5 MPa. The specimens do not broken, but have wrinkles and plastic deformation after the maximum load. The paper tubes vertical sealing were manufactured with elements with the sane outer diameter and thickness, but with 2400mm of length. Contributions of the research: The paper tubes are elements with high resistance due the tubular shape and are manufactured from reused kraft paper, using as resource discarded papers residues. The use of the paper tubes in the civil construction and Architecture contributes to the environmental preservation, because it reduces the natural resources extraction and the discarded solid residues in the landfills.*

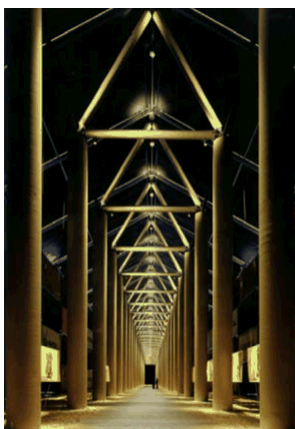
**Keywords:** Paper tubes; Recycled construction materials; Sustainable construction materials; Residues in the civil construction.

## 1. INTRODUÇÃO

Nos últimos tempos, a preocupação com a sustentabilidade ambiental tornou imprescindível a reciclagem e o desenvolvimento de novos materiais que utilizam resíduos em sua composição, inclusive, para o setor da Construção Civil e Arquitetura, na tentativa de se reduzir a extração de matérias primas naturais para a produção de bens e a quantidade de resíduos gerados, que ocasionam grandes danos ao meio ambiente e degradação do planeta.

Segundo Sartor e Lamberts (2008), este setor produtivo consome cerca de 75% dos recursos naturais extraídos do planeta e gera de 40% a 60% dos resíduos sólidos urbanos. Dessa forma, entende-se que há uma responsabilidade para os profissionais e indústrias desse ramo em tomarem medidas para amenizar essas questões (SALADO, 2006).

Neste sentido, vários esforços estão sendo feitos para reverter esta situação e recompensar o planeta, e um bom exemplo disso são as obras do arquiteto japonês Shigeru Ban, que utiliza tubos de papelão como elementos de vedação e estrutura em suas construções – figuras 1 a 4 (GG PORTFOLIO, 1997).



Figuras 1 e 2: Museu Nômade (EUA) e Pavilhão de Odawara (Japão).

Fontes: Miyake, 2009, p. 193 e The Japan Architect, summer 1998, p. 104.



Figuras 3 e 4: Escola Chengdu (China) e Casa de Papel (Japão).

Fontes: Pasternack, 2009 e The Japan Architect, summer 1998, p. 95.

Para McQuaid (2003), o atrativo por utilizar tubos de papelão na construção civil se deve ao fato de estes serem baratos com relação a outros materiais, de baixa tecnologia, e não gerarem desperdício, além de poderem ser reciclados ou reutilizados se estiverem em perfeitas condições de uso.

Com base nessas referências e nas ideias expostas acima e, ao mesmo tempo sabendo-se que o Brasil é um produtor e reciclador potencial de papel, Salado (2006) investigou as reais possibilidades de utilização de tubos de papelão fabricados por indústrias brasileiras na construção civil e Salado (2011) desenvolveu um painel de vedação vertical modular de tubos de papelão – figuras 5 a 7.



Figuras 5 e 6 – Painel **de vedação vertical de tubos de papelão.**

Fonte: Salado, 2011, p. 96.



Figura **7** – Painel de vedação vertical de tubos de papelão com esquadria.

**Fonte: Salado, 2011, p. 97.**

Entretanto, para se desenvolver este componente construtivo, foi necessário realizar diversos ensaios técnicos com o material para a sua caracterização; entre eles, o ensaio de resistência à compressão de corpos de prova de tubos de papelão.

A seguir será exposto o desenvolvimento deste ensaio e os resultados obtidos, fazendo-se alguns comentários nas conclusões deste trabalho.

## **2. ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO EM CORPOS DE PROVA DE TUBOS DE PAPELÃO**

Este ensaio seguiu as diretrizes da NBR 5739:1994 – Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos – Método de ensaio (ABNT, 1994), uma vez que não existem normas técnicas específicas para a realização deste ensaio em tubos de papelão.

### **2.1. Objetivo do ensaio**

O objetivo deste experimento foi determinar a **resistência à compressão de corpos de prova de tubos de papelão utilizados por Salado (2011) para a confecção de painéis de vedação vertical modulares, contribuindo para a caracterização do material.**

### **2.2. Corpos de prova do ensaio**

Foram ensaiados **oito corpos de prova, secos e sem nenhum tipo de revestimento, com 100mm de diâmetro externo e 05 mm de espessura de parede.** A altura foi definida conforme a NBR5739/1994 - Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos – Método de ensaio (ABNT, 1994), que determina que a altura do corpo de prova deve ser equivalente ao dobro do seu diâmetro externo, neste caso, sendo 200 mm de comprimento.

### **2.3. Materiais e equipamentos do ensaio**

Foram utilizados **uma serra de bancada, uma estufa com capacidade para atingir 105°C, uma balança digital, uma prensa dotada de uma célula de carga com capacidade para 30 toneladas, ligada a um sistema de aquisição de dados, paquímetro digital e analógico.**

### **2.4. Procedimentos do ensaio**

**Os corpos de prova foram cortados exatamente nas medidas mencionadas acima, formando um ângulo de 90° entre a face externa de sua parede e a face de corte. Após o corte ser efetuado com o auxílio de uma serra de bancada, lixaram-se as rebarbas das bordas.**

**Como os tubos de papelão estavam armazenados no laboratório da**

universidade havia algum tempo, além dos oito corpos de prova para o ensaio de resistência à compressão, preparou-se mais um para a aferição da umidade incorporada por estes antes do ensaio.

Dessa maneira, este corpo de prova extra foi pesado e colocado numa estufa a 105°C. Após a sua massa estabilizar, constatou-se que antes do ensaio os corpos de prova possuíam 8,5% de umidade incorporada.

A seguir, as medidas dos oito corpos de prova foram aferidas com o auxílio de paquímetros digital e analógico, antes destes serem submetidos ao ensaio de resistência à compressão.

Após isso, cada corpo de prova foi disposto sobre o prato da prensa, exatamente ao centro, e as cargas começaram a ser aplicadas lentamente. A velocidade de carregamento utilizada foi constante de 1,0 mm/min, para todos os corpos de prova, considerando-se que com esta velocidade a carga seria aplicada de forma bem lenta, não comprometendo o ensaio - figura 8.

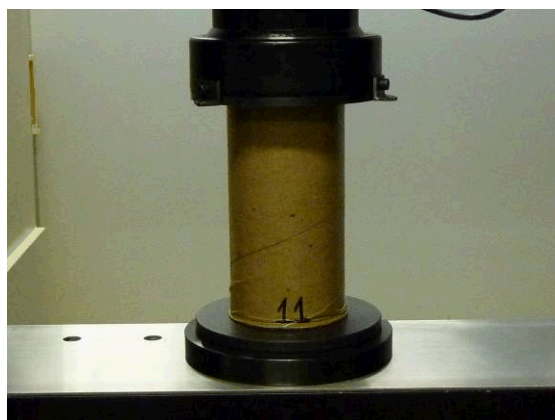


Figura 8 - Corpo de prova durante o ensaio de resistência à compressão.

Dessa forma, aplicou-se carga até se atingir o limite de escoamento. Através do sistema de aquisição de dados, pode-se obter a carga máxima para o escoamento para cada corpo de prova.

## 2.5.Resultados do ensaio

Os valores da carga máxima resistida para o escoamento para cada corpo de prova, assim como os valores para a tensão de escoamento, são expostos na tabela 1:

CPs	$\Phi_e$ (mm)	$\Phi_i$ (mm)	SL (cm <sup>2</sup> )	P <sub>máx</sub> (Kgf)	f <sub>cmáx</sub> (MPa)
11	100,4	90,4	15,0	755,1	5,0
12	100,3	90,5	14,7	738,7	5,0
13	100,5	90,4	15,1	754,6	5,0

14	100,5	90,3	15,3	771,2	5,0
15	100,3	90,5	14,7	739,4	5,0
16	100,5	90,4	15,1	753,1	5,0
17	100,5	90,3	15,3	772,5	5,1
18	100,3	90,5	14,7	737,8	5,0
<b>média</b>	<b>100,4</b>	<b>90,4</b>	<b>15,0</b>	<b>752,8</b>	<b>5,0</b>

**Tabela 1 – Resultados do ensaio de resistência à compressão em corpos de prova de tubos de papelão.**

Sendo,

$\Phi_e$  o diâmetro externo;

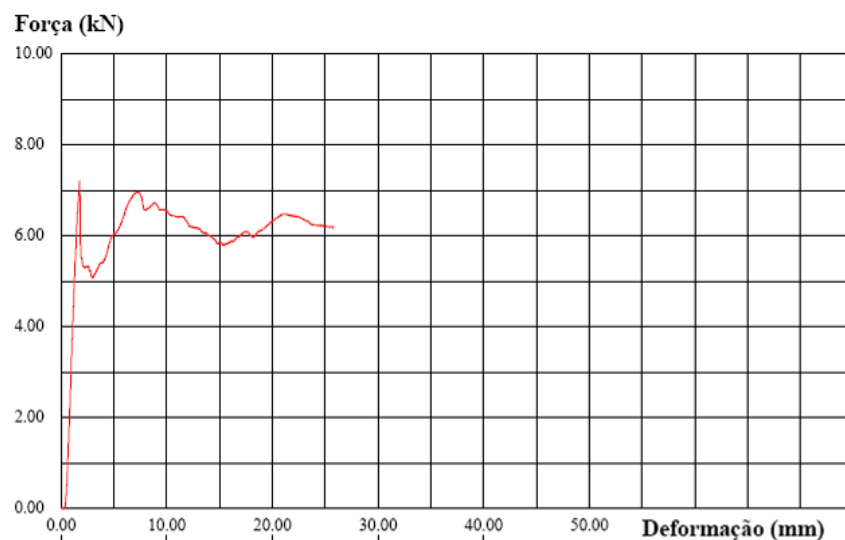
$\Phi_i$  o diâmetro interno;

$S_L$  a área líquida da seção;

$P_{máx}$  a carga máxima resistida;

$f_{cmáx}$  o módulo de resistência à compressão (tensão de escoamento).

O gráfico mostrado na figura 9 permite uma leitura do comportamento dos corpos de prova de tubos de papelão durante o ensaio de resistência à compressão.



**Figura 9 – Gráfico do ensaio de resistência à compressão em corpos de prova de tubos de papelão.**

Observando este gráfico e acompanhando os corpos de prova durante o ensaio de resistência à compressão, notou-se que a medida que as forças aplicadas se propagavam pelo corpo de prova, quando estas encontravam uma fresta

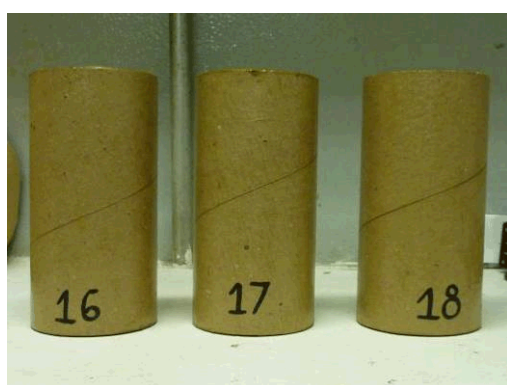
entre as camadas de papel kraft a resistência deste diminuía, provavelmente ocasionada pela redução na seção da parede do tubo. Esta área da emenda entre as faixas de papel kraft era, então, esmagada e ondulações eram formadas; o que, por sua vez, acabava aumentando a seção da parede do tubo neste local e tornando-o mais resistente às forças aplicadas. Este efeito ocorreu consecutivamente diversas vezes em cada corpo de prova, devido às várias frestas existentes entre as camadas de papel kraft, até se atingir o limite de escoamento.

Isso pode ser verificado por meio do gráfico acima, que mostra uma seqüência de perdas e ganhos de resistência pelos corpos de prova de tubos de papelão durante o ensaio de resistência à compressão.

## 2.6. Observação visual/táctil após o ensaio

Através de uma observação visual/táctil dos corpos de prova, pode-se perceber que após o ensaio de resistência à compressão estes não estavam rompidos, não tiveram destacamento de partes, nem delaminação.

Os corpos de prova apenas sofreram esmagamento da borda superior, junto à aplicação de carga e apresentaram ondulações paralelas às emendas de papel kraft, tanto na face externa quanto na face interna (figuras 10 e 11).



Figuras 10 e 11 - Corpos de prova antes e após o ensaio de resistência à compressão.

## 3. CONCLUSÕES

Além deste experimento determinar a resistência à compressão de corpos de prova de tubos de papelão utilizados por Salado (2011) para a confecção de

**painéis de vedação vertical modulares, contribuindo para a caracterização do material, este ensaio possibilitou se extraírem outras conclusões.**

Percebeu-se, com a realização deste ensaio, que o material testado não entra em colapso, o que comprova que este não possui ruptura frágil. Isso representa uma vantagem com relação aos materiais de construção convencionais, pois indica que este material não gera o desabamento ou desmoronamento repentino de uma construção. Este material apenas se mantém em estado de deformação plástica, deformando-se gradativamente.

**Quanto à resistência dos tubos de papelão aos esforços de compressão, pode-se perceber que os tubos de papelão são menos resistentes que os demais materiais de construção como, por exemplo, o concreto, o aço, a madeira e os blocos para alvenaria estrutural.**

Entretanto, o fato de os tubos de papelão serem menos resistentes que alguns materiais convencionais significa apenas que estes possuem características técnicas diferentes, mas isso não impossibilita o seu uso como elemento de estrutura ou vedação.

Essas características é que geram as diversas técnicas e sistemas construtivos para este material, os quais já foram bastante explorados por Shigeru Ban, como mostrou-se na introdução deste trabalho.

Shigeru Ban, inclusive, enfatiza que a resistência mecânica de um material não é o fator mais importante na estabilidade de uma construção; mas sim, a técnica construtiva adotada (McQUAID, 2003).

Conclui-se, portanto, que a impressão de fraqueza que se tem do material papel ou papelão é totalmente equivocada, pois através deste estudo pode-se perceber que utilizando-se o material da forma correta é possível se fazer grandes obras arquitetônicas.

## REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 5739:** Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1994.
- GG PORTFOLIO. **Shigeru Ban**. Barcelona: Editorial Gustavo Gili, 1997. 64p.
- McQUAID, M. **Shigeru Ban**. Nova York: Phaidon Press, 2003.
- MIYAKE, R. **Shigeru Ban**: Paper in Architecture. Nova York: Rizzoli International Publications, 2009.
- PASTERNAK, A. **An earthquake-ready school for China (just add cardboard tubes)**. Disponível em: <http://www.treehugger.com/sustainable-product-design/an-earthquake-ready-school-for-china-just-add-cardboard-tubes.html>. Publicado em 01/07/2009. Acessado em 04/05/2010 às 17:20.
- SALADO, G. C. **Construindo com tubos de papelão**: um estudo da tecnologia desenvolvida por Shigeru Ban. 2006. 184 p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Departamento de Arquitetura e Urbanismo, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

SALADO, G. C. **Painel de vedação vertical de tubos de papelão**: estudo, proposta e análise de desempenho. 2011. 281 p. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Departamento de Arquitetura e Urbanismo, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

SARTOR, C. E.; LAMBERTS, R. **Habitare**: resultados de impacto 1995/2007. Florianópolis: Coan Impressão Gráfica, 2008.

THE JAPAN ARCHITECT. **Shigeru Ban**. Edição especial nº30. Tóquio: A+U Publishing CO, summer 1998, 184p.

## **AGRADECIMENTOS**

À FAPESP pelo auxílio financeiro ao desenvolvimento deste trabalho.