



## DESEMPENHO DE PAINÉIS DE VEDAÇÃO VERTICAL DE TUBOS DE PAPELÃO CRIADOS NO BRASIL A IMPACTOS DE CORPO DURO

Gerusa C. Salado <sup>1</sup> e Eduvaldo P. Sichieri <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidade de São Paulo (Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Av. Trabalhador São-carlense, 400 – Centro – São Carlos – SP – Brasil – cep:13566-590 – gesalado@sc.usp.br)

<sup>2</sup> Universidade de São Paulo (Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Av. Trabalhador São-carlense, 400 – Centro – São Carlos – SP – Brasil – cep:13566-590 – sichieri@sc.usp.br)

**Palavras-chave:** Painel de vedação vertical; Desempenho estrutural; Impacto de corpo duro; Tubos de papelão; Materiais de construção recicláveis.

**Sumário:** O objetivo deste estudo é identificar a resistência de painéis de vedação vertical de tubos de papelão criados no Brasil à impactos de corpo duro, usando a norma técnica brasileira NBR 11675 – Divisórias leves internas moduladas – Verificação da resistência a impactos – Método de teste, e a partir dos resultados obtidos neste ensaio e através da norma técnica NBR 15575 – Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho – determinar os usos permitidos para estes painéis no Brasil.

### 1. INTRODUÇÃO

Atualmente, o crescimento vertiginoso da população mundial e o incentivo ao consumo aumentam cada vez mais a extração de matérias primas naturais para a produção de bens e a quantidade de resíduos gerados, resultando em grandes danos ambientais e degradação do planeta. Essa preocupação com a sustentabilidade ambiental tem tornado imprescindível a atividade de reciclagem e o desenvolvimento de novos materiais, que utilizem resíduos em sua composição.

Na área da Arquitetura e Construção Civil, setor que segundo [1] consome cerca de 75% dos recursos naturais extraídos do planeta e gera de 40% a 60% dos resíduos sólidos urbanos, vários esforços têm sido feitos para mudar esta situação. Um bom exemplo disso são as obras do arquiteto japonês Shigeru Ban que empregam tubos de papelão como elementos de vedação e estrutura.

Segundo [2], a atratividade em se utilizar tubos de papelão na construção civil se dá por estes serem baratos, de baixa tecnologia e não gerarem desperdício. Além disso, podem ser reciclados ou reutilizados, caso estejam em perfeitas condições de uso. Conforme [3], os tubos de papelão permitem a execução simples de peças que podem ser dispostas de inúmeras maneiras, resultando em construções de pequeno, médio e grande portes, em sistemas construtivos diferentes.

As figuras a seguir mostram que Shigeru Ban desenvolveu vários sistemas construtivos com este material, semelhantes aos sistemas construtivos que utilizam materiais de construção convencionais, gerando obras arquitetônicas para usos diversos.



Figuras 1 e 2: Museu Nômade (EUA) e Pavilhão de Odawara (Japão). Fontes: [4], p. 193 e [5], p. 104.



Figuras 3 e 4: Escola Chengdu (China) e Domus de Papel (Japão). Fontes: [6] e [5], p. 104.

Com base nisso, e sabendo-se que o Brasil é um produtor e reciclador potencial de papel, pesquisas realizadas neste país desenvolveram um painel pré-fabricado de tubos de papelão para ser usado em vedações verticais. Contudo, foi necessário realizar diversos testes nesse painel, para se conhecerem a sua resistência a diferentes esforços e o seu desempenho mecânico, e possibilitar o seu uso de maneira adequada na Arquitetura.

Assim, o painel criado foi submetido, entre outros testes, ao ensaio de resistência a impactos de corpo duro, como exigência das normas técnicas brasileiras para se avaliar o desempenho mecânico do produto [7]. Este ensaio, no Brasil, é realizado conforme a NBR 11675 – Divisórias leves internas moduladas – Verificação da resistência a impactos [8]. De acordo com os resultados obtidos neste ensaio, a NBR 15575 – Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho [9] determina os usos permitidos para este painel no Brasil.

Dessa forma, o objetivo deste trabalho é identificar a resistência a impactos de corpo duro no painel de vedação vertical de tubos de papelão desenvolvido no Brasil, usando a NBR 11675 – Divisórias leves internas moduladas – Verificação da resistência a impactos.

No próximo item será apresentado detalhadamente o ensaio de resistência a impactos de corpo duro realizado com o painel de vedação vertical de tubos de papelão criado no Brasil, de acordo com a NBR 11675.

Posteriormente, nas conclusões, serão feitas algumas considerações a respeito do ensaio realizado e serão expostos os possíveis usos para este painel no Brasil, segundo a NBR 15575 – Desempenho de edifícios habitacionais de até cinco pavimentos.

## 2. ENSAIO DE IMPACTO DE CORPO DURO

Este ensaio foi realizado conforme as definições da NBR 11675 – Divisórias leves internas moduladas – Verificação da resistência a impactos, e da NBR 15575 – Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho.

### 2.1. Objetivo do Ensaio

O objetivo deste experimento foi simular os choques provocados por tentativas de intrusões intencionais ou não, verificando a indentação proveniente de impactos de corpo duro sobre os painéis de vedação vertical de tubos de papelão propostos por [7].

### 2.2. Corpos-de-prova do Ensaio

Foram testados dois corpos-de-prova compostos cada um por um painel de vedação vertical de tubos de papelão, medindo 1,20 x 2,40m, feitos de tubos de papelão com 100 mm de diâmetro externo e 5 mm de espessura.

### 2.3. Materiais e Equipamentos do Ensaio

Foi usada uma estrutura vertical rígida de apoio aos painéis testados, um pórtico de aço com altura superior à altura do painel, uma esfera de aço maciça pesando 0,5 kg, um cabo de aço para sustentá-la e um paquímetro digital.

### 2.4. Procedimentos do Ensaio

Os corpos-de-prova foram dispostos apoiados na estrutura vertical rígida, com o pórtico metálico sustentando a esfera de aço maciça, tangenciando a superfície do corpo-de-prova exatamente ao centro quando em repouso – figura 1.



Figura 1 – Corpo-de-prova preparado para o ensaio de resistência a impactos de corpo duro.

O corpo duro foi suspenso a alturas pré-estabelecidas para gerar os impactos das energias desejadas e foi solto, atingindo os corpos-de-prova sem repiques, conforme a figura 2.

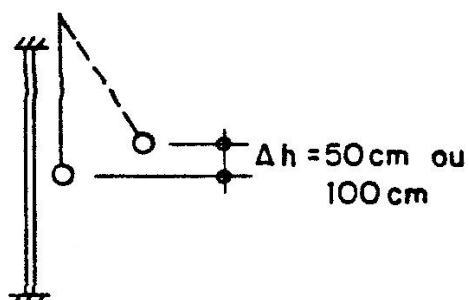


Figura 2 – Esquema de execução do ensaio de resistência a impactos de corpo duro. Fonte: [8], p.04.

Foram gerados dez impactos com o corpo duro de massa equivalente a 0,5kg nos corpos-de-prova, para cada altura e energia mostradas na tabela 1.

Tabela 1 – Dados para realização de ensaio de impacto de corpo duro. Fonte: [8], p.22.

Impacto	m (kg)	h (m)	E (J)
Aplicar 10 impactos de corpo duro de grandes dimensões (esfera de aço) para cada energia	1	1	10
	1	2	20
	1	3	30
Aplicar 10 impactos de corpo duro de pequenas dimensões (esfera de aço) para cada energia	0,5	0,5	2,5
	0,5	0,75	3,75
	0,5	1	5

Após cada impacto de corpo duro foram medidas as profundidades das mossas originadas, em milímetros, com o auxílio de um paquímetro digital de profundidade, observando-se possíveis falhas, fissuras, destacamentos e ruínas – figuras 3 e 4.



Figuras 3 e 4 – Realização do ensaio de impacto de corpo duro.

## 2.5. Resultados do Ensaio

Os resultados dos impactos gerados com o corpo duro são mostrados na tabela 2:

Tabela 2 – Resultados do ensaio de impacto de corpo duro em painéis.

Impacto de corpo duro em painéis de tubos de papelão							Ocorrências
m (kg)	h (m)	E (J)	Impacto	Profundidade (mm)			
				CP 1	CP 2	média	
0,5	0,5	2,5	1	0	0	0	Não ocorrência de falhas
0,5	0,5	2,5	2	0,1	0,2	0,2	
0,5	0,5	2,5	3	0,2	0,2	0,2	
0,5	0,5	2,5	4	0,3	0,3	0,3	
0,5	0,5	2,5	5	0,3	0,4	0,4	
0,5	0,5	2,5	6	0,4	0,6	0,5	
0,5	0,5	2,5	7	0,4	0,7	0,6	
0,5	0,5	2,5	8	0,5	0,8	0,7	
0,5	0,5	2,5	9	0,6	0,8	0,7	
0,5	0,5	2,5	10	0,7	0,9	<b>0,8</b>	
0,5	0,75	3,75	1	0,3	0,1	0,2	Não ocorrência de falhas
0,5	0,75	3,75	2	0,5	0,1	0,3	
0,5	0,75	3,75	3	0,6	0,2	0,4	
0,5	0,75	3,75	4	0,7	0,2	0,5	
0,5	0,75	3,75	5	0,7	0,2	0,5	
0,5	0,75	3,75	6	0,9	0,3	0,6	
0,5	0,75	3,75	7	1,3	0,7	1	
0,5	0,75	3,75	8	1,6	1,1	1,4	
0,5	0,75	3,75	9	1,8	1,5	1,7	
0,5	0,75	3,75	10	1,8	2,1	<b>2</b>	
0,5	1	5	1	0,2	0	0,1	Não ocorrência de falhas
0,5	1	5	2	0,3	0	0,2	
0,5	1	5	3	0,5	0,1	0,3	
0,5	1	5	4	0,6	0,1	0,4	
0,5	1	5	5	0,9	0,4	0,7	
0,5	1	5	6	1,2	0,5	0,9	
0,5	1	5	7	1,5	0,7	1,1	
0,5	1	5	8	1,9	0,8	1,4	
0,5	1	5	9	2	1	1,5	
0,5	1	5	10	2,1	1	<b>1,6</b>	

## 2.6. Observação Visua/Tátil após o Ensaio

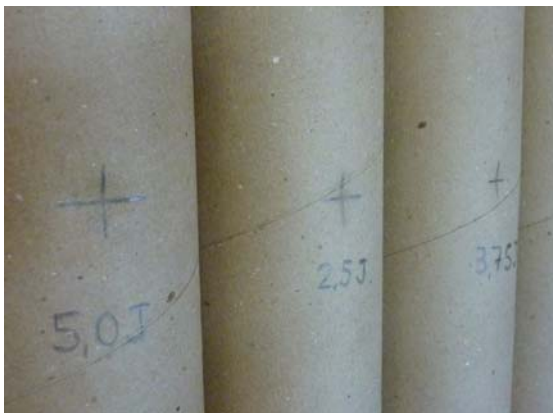
Após os impactos de corpo duro, os corpos-de-prova não haviam sido transpassados pela esfera de aço maciça utilizada no ensaio, não se encontravam desintegrados ou rompidos, nem apresentavam frestas entre os seus elementos ou fissuras; mantendo-se em perfeitas condições – figuras 5 e 6.





Figuras 5 e 6 – Corpo-de-prova após os impactos de corpo duro.

Os corpos-de-prova apresentaram apenas pequenas mossas nos locais onde foram gerados os impactos de corpo duro, que eram pouco perceptíveis. As figuras 7 a 10 mostram as mossas geradas.



Figuras 7 a 10 – Mossas ocasionadas nos painéis após os impactos de corpo duro.

### 3. CONCLUSÕES

Os impactos de corpo duro causaram danos mínimos nos corpos de prova, não comprometendo a sua integridade nem a sua estabilidade. Os painéis testados apresentaram resistência satisfatória aos impactos gerados e, conforme a norma técnica brasileira NBR 15575 – Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho [9], estes podem ser utilizados no Brasil em ambientes internos ou externos com ou sem função estrutural (sob o aspecto da resistência a impactos de corpo duro).

Contudo, há de fazerem algumas ressalvas. Primeiramente, é importante frisar que para se avaliar a adequabilidade de um painel de vedação vertical para fins estruturais são necessárias outras verificações em termos de estabilidade e resistência estrutural, enquanto que para fins não estruturais existem requisitos de comportamento à água, conforto térmico e acústico, etc. Em todos os casos, certamente a análise do comportamento ao fogo é indispensável. Outros testes já foram realizados com estes painéis, no Brasil, como ensaio de resistência à compressão simples e ensaio de impactos de corpo mole, obtendo ótimos resultados. Da mesma forma, diversas resinas impermeabilizantes já foram testadas e uma célula-teste foi construída com estes painéis em meio externo e exposta à intempéries. Entretanto, o objetivo deste trabalho foi focar o ensaio de resistência a impactos de corpo duro. Futuramente, devem ser realizados ensaios de resistência ao fogo em painéis com revestimentos de proteção, entre outros.

É importante enfatizar, também, que as normas técnicas utilizadas neste trabalho foram elaboradas considerando-se apenas os materiais de construção convencionais. Vale apontar, portanto, a grave falha das normas técnicas em não incluírem os materiais de construção alternativos em suas determinações. Na conjuntura atual, onde o desenvolvimento de materiais alternativos é cada vez mais necessário, assim como os incentivos ao seu uso, e as pesquisas sobre estes são cada vez mais frequentes, é imprescindível que todas as normas técnicas considerem estes novos materiais. Afinal, os materiais alternativos possuem características técnicas e comportamento diferentes, e devem ser avaliados sob parâmetros também diferentes.

### 4. AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Fapesp) pelo auxílio financeiro no desenvolvimento deste trabalho.

### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Sartor, C. and Lamberts, R. 2008. *Habitar: resultados de impacto 1995/2007*, ed. Florianópolis: Coan Impressão Gráfica [1] ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas/Brasil). 1990. *NBR 11675:1990 – Divisórias leves internas moduladas – Verificação da resistência a impactos*. ed. Rio de Janeiro: ABNT.
- [2] McQuaid, M. 2003. *Shigeru Ban*. ed. Nova York: Phaidon Press.
- [3] Salado, G. *Construindo com tubos de papelão: um estudo da tecnologia desenvolvida por Shigeru Ban*. Dissertação (mestrado). Universidade de São Paulo, Brasil, 2006.
- [4] Miyake, R. *Shigeru Ban: Paper in Architecture*. Nova York: Rizzoli International Publications, 2009.
- [5] The Japan Architect. *Shigeru Ban*. Edição especial n30. Tóquio: A+U Publishing CO, summer 1998, 184p.
- [6] Pasternack, A. *An earthquake-ready school for China (just add cardboard tubes)*. 2009. [Consultado a 4 maio 2010]. Disponível em <http://www.treehugger.com/sustainable-product-design/an-earthquake-ready-school-for-china-just-add-cardboard-tubes.html>.
- [7] Salado, G. *Painel de vedação vertical de tubos de papelão: estudo, proposta e análise de desempenho*. Tese (doutorado). Universidade de São Paulo, Brasil, 2011.
- [8] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). *NBR 11675 – Divisórias leves internas moduladas – Verificação da resistência a impactos*. Rio de Janeiro, 1990.
- [9] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). *NBR 15575 - Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos - Desempenho*. Rio de Janeiro, 2008.