63 - Sistemas Construtivos Compostos por Tubos De papelão

Gerusa de Cássia Salado (1); Eduvaldo Paulo Sichieri (2)
(1) Arquiteta e urbanista, Doutoranda do Departamento de Arquitetura e Urbanismo – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, Brasil – e-mail: gesalado@sc.usp.br
(2) Engenheiro de Materiais, Profº Titular do Departamento de Arquitetura e Urbanismo – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, Brasil – e-mail: sichieri@sc.usp.br

Resumo

O presente trabalho tem como objetivo aferir a resistência à compressão axial e a resistência à flexão de tubos de papelão fabricados no Brasil, além de identificar o comportamento deste material quando submetido a estes tipos de esforços, e comparar os resultados obtidos com os resultados de ensaios feitos pelo arquiteto Shigeru Ban com os tubos de papelão de origem japonesa que utiliza em suas obras. Método de pesquisa: Baseando-se em normas técnicas da Associação Brasileira de Normas Técnicas e nos próprios procedimentos de ensaios adotados por Shigeru Ban, foram realizados ensaios em laboratório com amostras de tubos de papelão fabricados por uma indústria brasileira, a fim de se obterem os valores correspondentes às resistências à compressão axial e à flexão. Resultados: Os tubos de papelão testados neste trabalho apresentaram resistências à compressão e à flexão cerca de 20% e 30%, respectivamente, inferiores aos tubos japoneses. O tubo de papelão não entra em colapso quando submetido a cargas; a tendência é se deformar até perder a estabilidade. Quando um tubo de papelão é submetido a uma carga de compressão, a força se propaga através das faixas de papel kraft, no sentido de seu enrolamento, rotacionando o elemento. Os tubos de papelão possuem resistência à flexão um pouco maior que sua resistência à compressão. Contribuições/Originalidade: Este trabalho tem relevância, uma vez que enfoca um material de grande produção nacional e maior resistência do que se imagina, podendo representar uma boa opção para alguns tipos de construções no Brasil – um país onde o déficit habitacional é tão preocupante - como as de caráter popular, emergencial e móvel, entre outras, sem gerar danos tão irreversíveis para o meio ambiente.

Palavras chave: Tubos de Papelão; Materiais de Construção Alternativos; Materiais de Construção Sustentáveis.

Abstract

This paper has the objective to measure the axial compression strength and the bending strength of paper tubes made in Brazil, as well as to identify the behavior of this material when submitted to this kind of forces and to compare the results obtained with the results of tests made by architect Shigeru Ban with the paper tubes from Japan used in his buildings. Research Method: based on the standards by the Brazilian Association of Technical Norms (Associação Brasileira de Normas Técnicas) and in the testing process used by Shigeru Ban, tests were carried out in the laboratory with samples of paper tubes made by a Brazilian company, aiming to obtain the values of their axial compression strength and bending strength. The paper tubes tested in this research present compression and bending strengths of about 20% and 30% respectively, lower than Japanese tubes. A paper tube does not collapse when submitted to loads; it usually deforms itself until losing stability. When a paper tube is submitted to a compression load, the force through the kraft paper sashes, in direction of the rotation of the element. Paper tubes have a bending strength which is a little higher than their compression strength. Contributions/Originality: this paper is relevant because it focuses a material with a large national production and higher strength that can

be imagined, offering a good option to the same kind of construction in Brazil – a country where the housing deficit is a great concern - such as those that are self-built, emergential and movable, among others, without causing such irreversible damage to the environment.
Keywords: paper tubes; alternative construction materials; sustainable construction materials.

1 Introdução

Atualmente, existe uma grande variedade de materiais que podem ser utilizados na Arquitetura. Dentre estes, encontram-se materiais que são utilizados há séculos por nossa civilização, como a pedra, a madeira, a terra e o aço, além do concreto, dos materiais cerâmicos, polímeros e vidros.

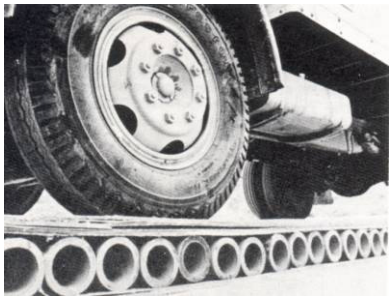
Cada um destes materiais possui as suas qualidades, vantagens, especificidades de uso e justificativas por existir. Seus usos e aplicações são diferenciados, de acordo com as suas propriedades, compondo sistemas construtivos de diversos tipos e funções.

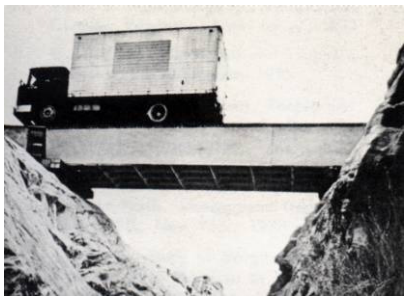
Conforme a sua função (estrutural, vedação, acabamento, etc) podem-se observar semelhanças entre sistemas construtivos que empregam materiais diferentes. Isso porque com base no potencial de cada material determinam-se as suas possibilidades de uso na construção civil e desenvolve-se toda uma tecnologia para este material.

Em outras palavras, pode-se gerar uma estrutura em arco, por exemplo, com elementos de aço, madeira, concreto ou simples tijolos. A mesma variedade de materiais, entre outros, pode gerar sistemas de vedação, painéis portantes, treliças planas e espaciais, tesouras, etc.

Hoje em dia, graças ao trabalho desenvolvido pelo arquiteto japonês Shigeru Ban, pode-se dizer que tudo isso também pode ser feito com tubos de papelão.

Entretanto, o primeiro experimento feito com tubos de papelão surgiu bem antes deste arquiteto se interessar pelas possibilidades de uso deste novo material quando, em 1970 nos EUA, o engenheiro estrutural Led Zetlin construiu uma ponte para a *International Paper Company* – figuras 01 e 02. (MINKE, 1980).





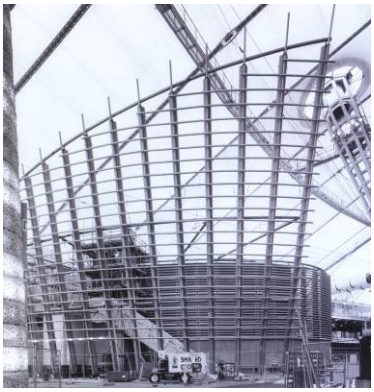
Figuras 01 e 02 - Ponte de tubos de papelão, EUA. Fonte: Minke, 1980, p.52.

Em 1976, no *Rensselaer Polytechnic Institute*, Nova Iorque, Martin Pawley fez uma construção de 60 m² utilizando tubos de papelão de 10 cm de diâmetro, preenchidos internamente com latas e garrafas – figura 03. (MINKE, 1980).



Figura 03 – Experimento de Martin Pawley com tubos de papelão, EUA. Fonte: Minke, 1980, p.56.

No Reino Unido, em 2000, com o intuito de mostrarem às pessoas que era possível fazer uma arquitetura de boa qualidade com materiais não refinados, Philip Gumuchdjian e Stephen Spence construíram um espaço de exposições de 1500 m² feito quase que inteiramente com tubos de papelão reciclados. – figuras 04 e 05. (HART, 2000).




Figuras 04 e 05 – Construção da *Shared Ground*. Fonte: Hart, 2000, p.44-5.

Cottrell e Vermeulen, em 2002, construíram na Inglaterra a primeira obra permanente em tubos de papelão da Europa; um anexo escolar que possui componentes de papelão em sua estrutura e vedação – figuras 06 e 07. (SLESSOR, 2002).




Figuras 06 e 07 – Clube de música pós-aula construído com tubos de papelão, Inglaterra. Fonte: Slessor, 2002, p.57.

Dentro deste panorama, destaca-se a contribuição de Shigeru Ban, o arquiteto que mais se dedicou ao desenvolvimento e divulgação da tecnologia que propõe o uso de tubos de papelão como elementos construtivos na Arquitetura.

Com base na produção deste arquiteto, alguns de seus projetos serão apresentados a seguir, fazendo-se uma analogia com os sistemas construtivos compostos pelos materiais convencionais.

2 Os Sistemas Construtivos em tubos de papelão desenvolvidos por Shigeru Ban e os Sistemas Construtivos Convencionais

Os tubos de papelão são um material bastante versátil e podem ser usados de diversas maneiras, possibilitando sistemas construtivos variados que, muitas vezes, geram obras arquitetônicas arrojadas, surpreendendo quem as contempla.

A atratividade em se utilizar tubos de papelão na construção civil se dá por estes serem baratos, facilmente relocados e substituídos – quando danificados, de baixa tecnologia, manterem sua cor natural e não gerarem desperdício. Além disso, podem ser reciclados ou reutilizados, caso estejam em perfeitas condições de uso. (McQUAID, 2003).

Shigeru Ban projeta e constrói utilizando tubos de papelão há duas décadas e já implantou suas obras em várias partes do mundo, como Japão, Índia, Turquia, França, EUA, Alemanha e Ruanda. Em algumas de suas obras o arquiteto utiliza tubos de papelão apenas para vedação ou estrutura e, em outras, para ambas as funções.

Ban não gosta de desperdício e defende e promove a reciclagem como uma solução pós-tecnológica e pós-industrial. E além de ser especialmente preocupado em usar os materiais com sensibilidade ecológica, ele gosta de fazê-lo para atender aos ricos e aos pobres. (BERET; PENWARDEN, 2000).

Em suas obras, Ban mantém as características simples do tubo de papelão, utilizando-o oco e com tratamento contra a ação do fogo e umidade, e aumenta as suas qualidades básicas para gerar um material estrutural com resistência satisfatória. (SALADO, 2006).

Com isso, ele transforma simples tubos de papelão em construções grandiosas e espaços diferenciados, fazendo-se repensar as idéias de fraqueza, durabilidade e natureza efêmera do papel.

2.1 Painéis de vedação em tubos de papelão

Uma das primeiras construções nas quais Shigeru Ban utilizou tubos de papelão como elementos de vedação foi o Pavilhão de Odawara, no Japão, construído em 1990 para comemorar o aniversário da cidade. Nesta obra usou-se uma estrutura metálica independente e os tubos de papelão serviram apenas para vedar o espaço e dar proteção contra chuva e ventos fortes – figura 08. (THE JAPAN ARCHITECT, summer 1998). Na figura ao lado pode-se observar o Edifício Columbus, de Rino Levi, construído na década de 30, utilizando materiais convencionais para estrutura e vedação.



Figura 08 – Vista externa do Pavilhão de Odawara.
Fonte: The Japan Architect, summer 1998, p.104.



Figura 09 – Edifício Columbus.
Fonte: Pedreira, 1987, p. 30.

Na construção temporária de Shigeru Ban, entre os tubos de papelão foram colocados tubos transparentes de vinil, de pequeno diâmetro, para permitir a entrada da luz natural. Grandes tubos de papelão, de 123 cm de diâmetro, foram usados para os sanitários. (THE JAPAN ARCHITECT, summer 1998).

A planta baixa e um detalhe construtivo de ligação entre os tubos de papelão e os tubos de vinil são mostrados nas figuras 10 e 11. Através deste detalhe é possível verificar que os tubos de papelão foram fixados sobre peças de madeira em formato de diafragma.

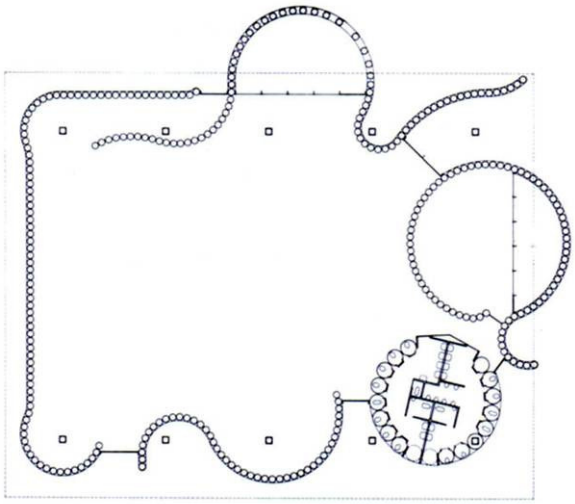


Figura 10 – Planta baixa do Pavilhão de Odawara.
Fonte: The Japan Architect, summer 1998, p.104.

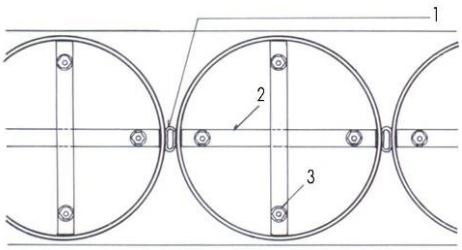
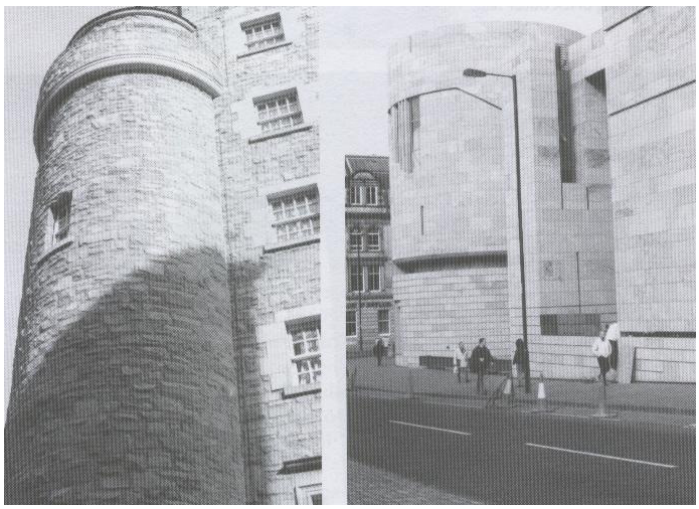


Figura 11 – Detalhe construtivo.
Fonte: The Japan Architect, summer 1998, p.105.

2.2 Painéis portantes em tubos de papelão

Para que o arquiteto pudesse gerar sistemas estruturais com os tubos de papelão, foi necessário conhecer as características técnicas do material. Ban realizou alguns ensaios em laboratório e identificou que os tubos de papelão que este utiliza resistem a cerca de 10 MPa quando submetidos a esforços de compressão e a cerca de 15 MPa quando submetidos à flexão. (McQUAID, 2003).[1]

O primeiro tipo de sistema estrutural testado por Shigeru Ban lembra os antigos painéis portantes construídos com pedras, como no *Crowne Plaza Hotel* e no *Scottish National Museum*, na Holanda - figura 12. Na versão inovadora do arquiteto japonês, tubos de papelão constituíram um painel portante para gerar um caramanchão, em 1989 – figura 13.



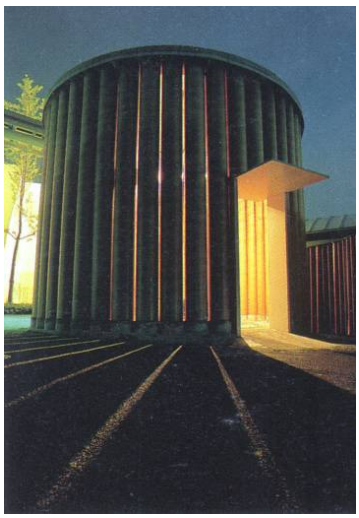


Figura 12 – Painéis portantes construídos com pedras na Holanda.
Fonte: Hendry; Khalaf, 2001, p.8.

Figura 13 - Vista externa do Caramanchão de Papel.
Fonte: The Japan Architect, summer 1998, p.107.

[1] Conforme Shigeru Ban foi desenvolvendo sistemas construtivos mais complexos, foi sendo necessário realizar outros tipos de ensaios técnicos como, por exemplo, ensaio de resistência ao cisalhamento, ensaio de resistência à torção, ensaios de ligações e ensaios em elementos com diferentes teores de umidade, de acordo com as especificidades de cada projeto. (McQUAID, 2003).

Seis meses após sua construção, a estrutura foi desmontada e os tubos foram testados. Mesmo ficando tanto tempo expostos à chuva, ventos e insolação, os tubos tiveram a sua resistência à compressão aumentada, devido ao endurecimento da cola utilizada na sua fabricação. (THE JAPAN ARCHITECT, summer 1998).

Após este primeiro teste, em 1995, o arquiteto construiu sua própria casa de campo, no aterro de Lake Yamanaka, no Japão, fazendo uso do mesmo sistema construtivo.

Essa foi sua primeira construção permanente que obteve autorização oficial e aprovação do governo japonês para utilizar tubos de papelão estruturalmente. Para proteger a obra da chuva e neve, esta foi envolta por panos de vidro móveis – figuras 14 e 15. (BERET; PENWARDEN, 2000).



Figura 14 – Vista externa da Casa de Papelão.
Fonte: The Japan Architect, summer 1998, p.95.

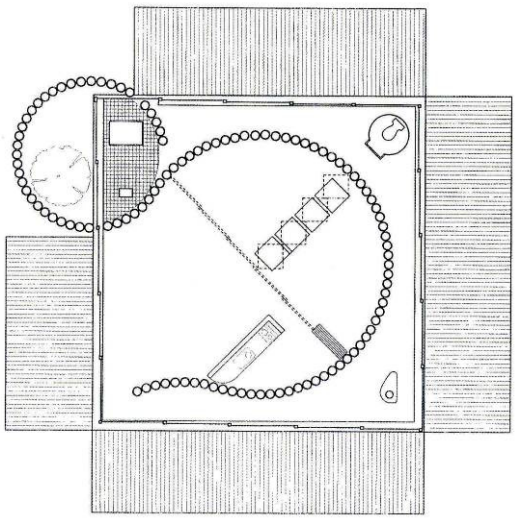


Figura 15 – Planta baixa da Casa de Papelão.
Fonte: The Japan Architect, summer 1998, p.96.

2.3 Tesouras e treliças planas em tubos de papelão

Shigeru Ban também utilizou o sistema de painéis portantes para construir abrigos emergenciais em Kobe, no Japão, nos quais a cobertura era formada por tesouras em tubos de papelão, com ligações de madeira (McQUAID, 2003); remetendo ao sistema convencional que utiliza elementos de madeira ligados entre si através de peças metálicas – figuras 16 e 17.



Figura 16 – "*Log House*" em construção, em Kobe.
Fonte: The Japan Architect, summer 1998, p.89.

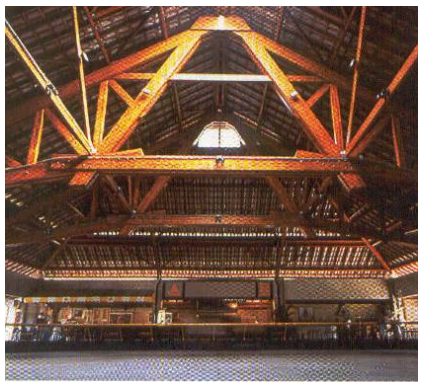


Figura 17 - Tesoura em madeira.
Fonte: Callia Estruturas de Madeira,1995, p. 99.

Na construção da Biblioteca do Poeta, em 1991 no Japão, Shigeru Ban compôs treliças planas a partir de elementos tubulares de papelão, unidos por peças de madeiras e contraventamentos com cabos de aço.

Concebida para ser uma obra permanente, esta construção também foi envolta por uma caixa de vidro – figura 18. Um detalhe da ligação entre os diversos elementos pode ser visto na figura 19. (THE JAPAN ARCHITECT, summer 1998).

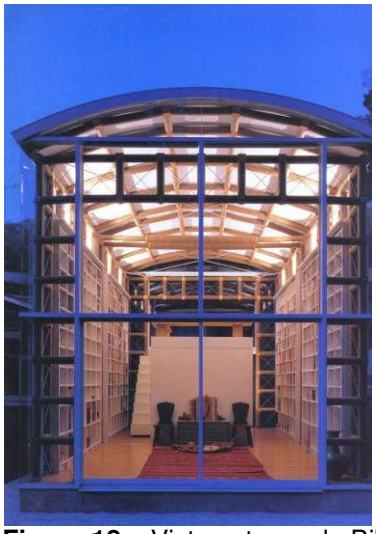


Figura 18 – Vista externa da Biblioteca do Poeta.
Fonte: The Japan Architect, summer 1998, p.102.

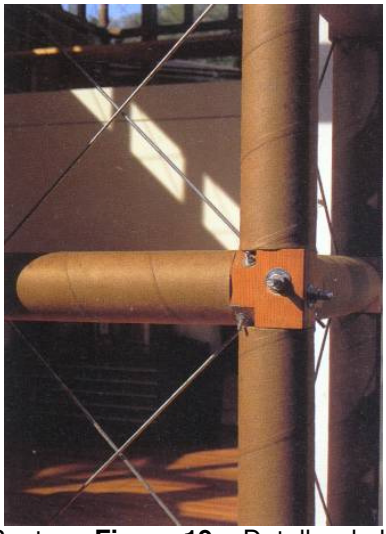


Figura 19 – Detalhe de ligação.
Fonte: The Japan Architect, summer 1998, p.103.

Nas figuras 20 e 21 podem-se observar uma perspectiva do projeto da Biblioteca do Poeta e um sistema de escoramento formado por treliças planas de madeira para a construção do Viaduto sobre o Vale dos Diabos, na BR-158/RS.

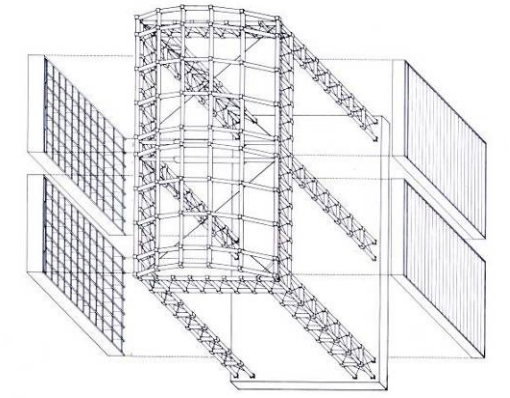


Figura 20 - Perspectiva da Biblioteca do Poeta.
Fonte: The Japan Architect, Summer 1998, p. 100.

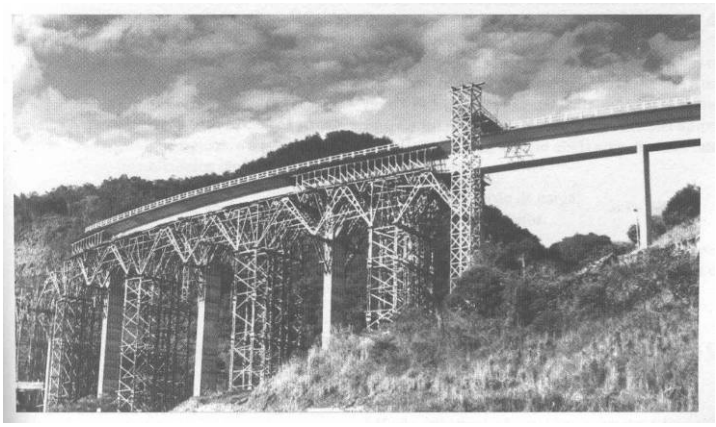


Figura 21 – Escoramento composto por treliças planas de madeira.
Fonte: Pfeil; Pfeil, 2003, p. 25.

2.4 Arcos em tubos de papelão

Shigeru Ban passou a projetar e construir uma série de obras em arcos, ousando mais a cada projeto. Em 1998, o arquiteto construiu um galpão permanente de aproximadamente 25 x 28 m para uma empresa fornecedora de casas de madeira; que o solicitou a Ban devido à relação existente entre os materiais. Como exigência de projeto, o galpão deveria ser aberto e fácil de ser montado pelo grupo de carpinteiros do próprio cliente. Dessa forma, Ban propôs um Domus com 8 m de altura – figura 22. (THE JAPAN ARCHITECT, summer 1998).

A figura 23 mostra uma estrutura semelhante executada com elementos de aço, que é a cobertura de uma quadra de tênis situada sobre um edifício em Paris.



Figura 22 - Espaço interno do Domus.
Fonte: The Japan Architect, summer 1998, p.82.

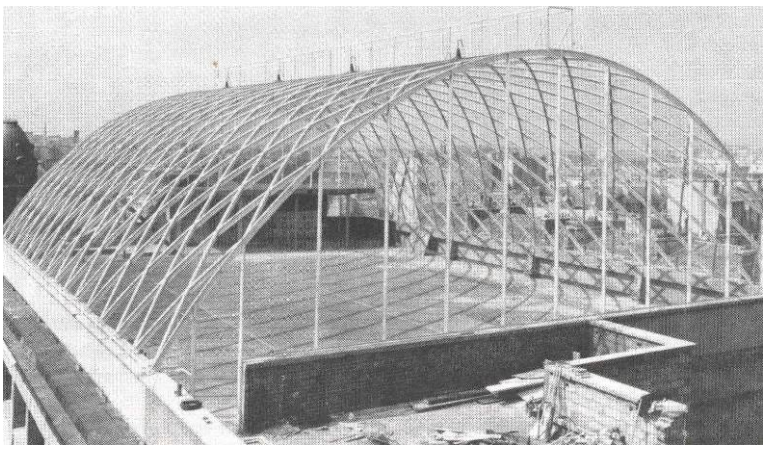
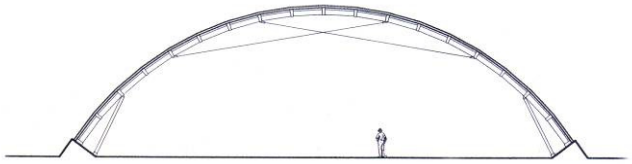
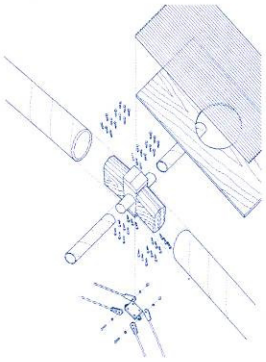


Figura 23 – Domus construído em estrutura metálica.
Fonte: Makowski, 1985, p.13.

Acima da estrutura em arco, feita de tubos de papelão, colocou-se uma camada de chapas de madeira, conhecidas por OSB (*Oriented Strand Board*), para propiciar resistência lateral. Sobre esta colocou-se uma camada de painéis de policarbonato corrugado, para proteger a estrutura de chuva e neve – figuras 24 e 26. A figura 25 mostra o corte longitudinal da construção.







Figuras 24, 25 e 26 – Escoramento da estrutura, corte longitudinal do projeto e camadas constituintes da cobertura do Domus de Papelão. Fonte: The Japan Architect, summer 1998, p.80-81.

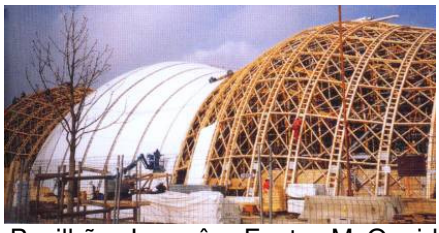
A mais complexa estrutura construída até os dias atuais em tubos de papelão foi o Pavilhão Japonês na Feira Internacional de Hannover, Alemanha, no ano de 2000. A construção temporária de 3.100 m^2 formou um espaço imponente e generoso e teve sua estrutura constituída de uma casca gigantesca de formato irregular e orgânico, feita a partir de uma trama de tubos de papelão – figura 27. (McQUAID, 2003).
Considerando o tema da feira, voltado para o desenvolvimento sustentável, Shigeru Ban teve a colaboração de Frei Otto para desenvolver este projeto. O sistema construtivo e os materiais foram especificados com o intuito de abolir os desperdícios e reciclar ou re-utilizar a maior quantidade possível dos componentes após a desmontagem do pavilhão. A partir deste princípio, os tubos de papelão utilizados foram fabricados com papéis recicláveis coletados na própria Alemanha.



Figura 27 – Vista noturna do Pavilhão Japonês. Fonte: McQuaid, 2003, p.67.

Pelo mesmo princípio, uma membrana foi especialmente desenvolvida, pois o PVC usado nas membranas convencionais não pode ser reciclado e libera dióxidos quando é queimado. A estrutura foi toda montada no solo e depois gradualmente içada até tomar a configuração definida no projeto, o que levou cerca de duas semanas – figuras 28, 29 e 30. (McQUAID, 2003).





Figuras 28, 29 e 30 – Montagem e içamento da estrutura do Pavilhão Japonês. Fonte: McQuaid, 2003, p.62.

3 Conclusões

Pelas obras acima expostas, percebe-se que Shigeru Ban tenta desenvolver técnicas construtivas para fazer com tubos de papelão o que outros arquitetos fazem com os materiais de construção convencionais.

Os sistemas construtivos gerados por Shigeru Ban, dependendo do caso, se assemelham bastante aos sistemas construtivos que utilizam materiais convencionais, como as alvenarias estruturais, os sistemas em madeira e os sistemas tubulares em aço.

Como características os sistemas construtivos em tubos de papelão apresentam mobilidade, dispensam a execução de acabamento, compõem uma construção muito leve (dispensando uma fundação complexa), limpa e que não necessita de mão-de-obra experiente ou especializada. Entretanto, exigem coberturas leves. Além disso, o material utilizado provém da reciclagem e pode ser novamente utilizado ou reciclado após o seu uso.

As obras de Shigeru Ban nos fazem refletir sobre a relação existente entre Arquitetura e materiais; e comprovam que a resistência e estabilidade de uma estrutura estão relacionadas ao conhecimento do material utilizado e à técnica construtiva adotada, e não apenas à resistência mecânica do material em si.

Enfim, seu trabalho mostra que com criatividade, conhecimento e bom senso é possível se fazer uma Arquitetura mais sustentável e de ótima qualidade com materiais alternativos.

4 Referências Bibliográficas

BERET, C.; PENWARDEN, C. **Shigeru Ban: towards a minor, radical architecture.** Art-Press, n256, abr 2000, p.41-5.

CALLIA ESTRUTURAS DE MADEIRA. **Estruturas de madeira: o negócio dessa empresa.** In: Arquitetura e Construção, ano 11, n 04, abril 1995. São Paulo: Abril, 1995. p.99.

HART, S. **21st – Century alchemist.** Architecture, v89, n2, fev 2000, p.42-5 e 154. Nova Iorque: BPI Communications, Inc.

HENDRY, A.; KHALAF, F. **Masonry wall construction.** Londres: Spon Press, 2001. p.8.

MAKOWSKI, Z. **Analysis, design and construction of braced barrel vaults.** Nova Iorque: Elsevier Applied Science Publishers, 1985. p. 13.

McQUAID, M. **Shigeru Ban.** Nova Iorque: Phaidon Press, 2003.

MINKE, G. **Bauen mit paper.** In: Alternatives Bauen. Kassel (Alemanha), 1980.

PEDREIRA, L. A. **(plantar o século XXI) com as sementes do passado.** In: Arquitetura e Urbanismo, ano 3, n 11, abril/maio 1987. Sao Paulo: Pini, 1987, p. 28-34.

PFEIL, W.; PFEIL, M. **Estruturas de madeira.** Rio de Janeiro: LTC, 2003. p.25.

SALADO, G. C. **Construindo com tubos de papelão: Um estudo da tecnologia desenvolvida por Shigeru Ban.** Dissertação (Mestrado). São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, 2006. 186p.

SLESSOR, C. **Folding planes.** The Architectural Review, v211, n1262, abr 2002, p.56-7. Londres: Emap Construct.

THE JAPAN ARCHITECT. **Shigeru Ban.** Edição especial n30. Tóquio: A+U Publishing CO, summer 1998, 184p.
Este trabalho foi desenvolvido com apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo.