ELEMENTOS TUBULARES DE PAPEL RECICLADO UTILIZADOS COMO ELEMENTO CONSTRUTIVO: UMA POSSIBILIDADE VIÁVEL DE USO DOS RESÍDUOS EM TERMOS TÉCNICOS, ECONÔMICOS E DE SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL

Nathalia Schimidt Dias [(1)]; Bianca Santos Camargo [(2)]; Gerusa de Cássia Salado [(3)]

(1) Universidade Estadual de Campinas – nathalia.schimidt@hotmail.com; (2) Universidade Estadual de Campinas – bisancam.94@gmail.com; (3) Universidade Estadual de Campinas – gerusa@ft.unicamp.br.

RESUMO

A construção civil é uma atividade de considerável impacto ao meio ambiente pelo consumo desenfreado de matérias primas. Com o intuito de reverter este quadro, atualmente há diversas alternativas a serem recorridas como forma de solucionar a grande produção de resíduos. Além de reduzir o volume de materiais descartados, o reaproveitamento de resíduos de outros setores produtivos traz uma nova perspectiva em relação ao que a construção civil representa. O objetivo deste trabalho é apresentar através de revisão bibliográfica como construções que utilizam tubos de papelão como elemento construtivo, material proveniente de papel reciclado e que provavelmente se tornaria um resíduo pouco utilizado, são viáveis em diversas situações, em termos técnicos, econômicos e de sustentabilidade ambiental. Tomaram-se como base os trabalhos efetuados pelo arquiteto Shigeru Ban e pesquisas desenvolvidas no Brasil há mais de quinze anos. Através da análise concluiu-se que os resultados obtidos são pertinentes não só para profissionais da área da construção, como também de outras áreas, por ser exposto o quão indicado é aplicar o uso do derivado de papel na construção, principalmente por apresentar traços evidentes de sustentabilidade, praticidade e economia, aliados à resistência mecânica e durabilidade, satisfatórias para certos tipos de construções.

Palavras-chave: Resíduos na construção, tubos de papelão, materiais reciclados, materiais não-convencionais.

TUBULAR ELEMENTS OF RECYCLED PAPER USED AS A CONSTRUCTION ELEMENT: A VIBRANT POSSIBILITY OF USE OF WASTE IN TECHNICAL, ECONOMIC AND ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY

ABSTRACT

Civil construction is an activity that has a considerable impact on the environment through uncontrolled consumption of raw materials. With the intention of reversing this situation, there are currently several alternatives to be used to solve the large waste production. In addition to reducing the volume of discarded materials, the reuse of waste from other productive sectors brings a new perspective on what construction represents. The objective of this work is to present, through a bibliographical review, constructions that use cardboard tubes as a constructive element, material from recycled paper and that would probably become a little used waste, are feasible in several situations, in technical, economic and sustainability terms environmental. The work carried out by the architect Shigeru Ban and researches developed in Brazil for more than fifteen years was taken as base. Through the analysis, it was concluded that the results obtained are pertinent not only to construction professionals, but also to other areas, because it is exposed how indicated is to apply the use of the paper derivative in the construction, mainly because there are obvious traces of sustainability, practicality and economy, coupled with satisfactory mechanical resistance and durability for certain types of constructions.

Key-words: Waste in construction, cardboard tubes, recycled materials, unconventional materials.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, os impactos ambientais que vem ocorrendo no planeta são diretamente proporcionais ao crescimento da população. Estes impactos ocorrem principalmente pela necessidade de consumismo do homem, levando a uma alta exploração de recursos naturais e produção de resíduos. Dentre as atividades que causam grandes impactos ao ambiente, a construção civil possui grande representatividade, já que há uma necessidade constante de explorar recursos naturais.

Sabendo-se que os impactos causados pela construção civil são notáveis, o setor hoje procura meios de manejo para a redução do consumo de matéria prima e a produção de resíduos, visando também gerar benefícios econômicos, sendo que a redução vem por meio da reciclagem e reutilização de materiais, minimizando a extração exorbitante [1].

A aplicação de atividades menos impactantes na construção se enquadra na sustentabilidade, iniciativa que efetua em seu meio alterações conscientes, modificando os materiais comuns sem que as necessidades de moradia se alterem [2]. Existem diversos resíduos que podem ser reaproveitados, dentre estes materiais há o papel, que é gerado em grandes quantias nos mais variados setores e possui grande potencial de reciclagem [3].

O papel quando reciclado pode se tornar papelão que pode ser aplicado na construção de diversas formas, aplicação esta que vem ocorrendo desde a segunda parte do século XIX, possibilitando que o papelão seja considerado o protagonista em muitas construções [4].

Os tubos de papelão são versáteis, além de possuírem qualidades que possibilitam seu emprego em formas distintas, gerando inúmeras maneiras de construção e tornando-os uma solução economicamente viável. Dentre as construções que utilizam os tubos de papelão, têm-se principalmente as obras do arquiteto Shigeru Ban, as quais são bem interessantes e vem sendo desenvolvidas até os dias de hoje [5].

Hoje é possível identificar a importância da sustentabilidade e o uso de materiais alternativos (como os tubos de papelão provenientes de reciclagem ou não) empregados na construção civil. Diante disso, esta pesquisa tem por intuito apresentar como tubos de papelão que a primeira vista são frágeis e de pouca durabilidade podem ser ótimos elementos de construção, tornando-se uma solução viável tecnicamente para moradia e conforto do ser humano, além de proporcionar resultados animadores em relação a economia e a sustentabilidade ambiental.

2. ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICA, ECONÔMICA E AMBIENTAL DE ELEMENTOS TUBULARES DE PAPEL RECICLADO EMPREGADOS EM SISTEMAS CONSTRUTIVOS

Um material é considerado bom quando possui boa resistência e bom desempenho[1] na estrutura, contudo, em obras de construção civil esses fatores não podem ser analisados isoladamente, uma vez que esses dois quesitos devem ser associados a outros fatores, como viabilidade econômica e a sustentabilidade ambiental.

Os elementos tubulares de papel são constantemente empregados em diversas obras do arquiteto Shigeru Ban, que executa diversas construções em países como Japão, Alemanha, China, França etc. Nas figuras 1, 2 e 3 mostram-se algumas das obras executadas por Ban.

Figura 1 – Construção da Geodésica de papelão (6).



Figura 2– Vista exterior da Cabana Yakushima (6).



Figura 3– Estaleiro do canal de Borbonha (6).



Os tubos de papelão podem ser uma solução viável tecnicamente, desde que se conheçam as características do material como resistência e as técnicas construtivas exigidas para a concepção estrutural. No mais, os elementos tubulares em papelão também são viáveis economicamente, já que são mais baratos que os materiais convencionais como a madeira e o aço, além de serem

[1] Estruturalmente, define-se como bom desempenho quando o material é capaz de manter-se em plenas condições de utilização durante toda a sua vida útil de projeto, ou seja, o material não deve apresentar danos que comprometam em parte ou totalmente a estrutura projetada.

sustentáveis, pois podem ser facilmente reciclados após a utilização e durante o período de execução da obra geram construções limpas e que não causam grandes impactos ambientais [4] [7].

2.1. Viabilidade técnica

Os grandes volumes de papéis descartados podem gerar tubos de papelão, que são elementos de grande resistência devido ao seu formato tubular, fornecendo assim mais uma opção de material para utilização na construção civil [8].

A utilização de tubos de papelão como principal elemento estrutural vem desde a década de 70, quando Lev Zetlin construiu uma ponte com tubos de papelão, sendo estes alocados de maneira transversal e capazes de resistir a um carregamento de até 8 tf [9].

Em 2002, alunos de uma escola na Europa construíram um pavilhão musical. A construção de caráter permanente foi concebida para durar 20 anos e constituída por 90% de materiais reciclados [10].

Dentre os profissionais que utilizam esse material, Shigeru Ban é o mais conhecido quando se trata da concepção de obras com tubos de papelão, contudo a Universidade de Tecnologia de Delft, Holanda, dispõe de algumas pesquisas com o material, empregando-os como elemento estrutural (vigas e pilares) ou vedação vertical [11].

Com relação ao Brasil, alguns trabalhos vêm sendo desenvolvidos desde 2003. Inicialmente, a proposta para utilizar tubos de papelão foi feita no trabalho de conclusão de curso desenvolvido por Salado, sendo um projeto de um Centro Cultural na Zona Norte (SP), empregando o papelão como material de vedação [8]. No mesmo ano, alunas da USP desenvolveram um projeto com a proposta de utilização de papelão para a estrutura, cobertura e vedação de casas para a Vila dos Ferroviários na cidade de Campinas, contudo o mesmo não foi construído [12].

Continuando os estudos no Brasil nos anos de 2006 a 2015, Salado estudou as tipologias construtivas criadas pelo arquiteto japonês, bem como as características técnicas dos tubos de papelão e sequencialmente desenvolveu painéis modulares compostos por tubos de papelão para vedação vertical, onde testou-se a resistência mecânica e o comportamento dos elementos quando submetidos às principais ações sofridas por um painel de vedação vertical, além de avaliar o seu desempenho frente a intempéries e situações reais de exposição [4] [7] [13].

Em 2017, Dias realizou alguns estudos com tubos de papelão diferentes dos encontrados na literatura, dessa forma, pôde-se comprovar a resistência à compressão do material com diâmetro e espessura diferentes dos ensaios abordados nos estudos de Salado [14]. Os ensaios foram realizados para corpos-de-prova (CPs) com alturas de 190 e 950 mm, conforme demonstrado respectivamente nas figuras 4 e 5.

Figura 4 - Corpo-de-prova durante o ensaio de resistência à compressão [14].



Figura 5 - Corpo-de-prova durante o ensaio de resistência [14].

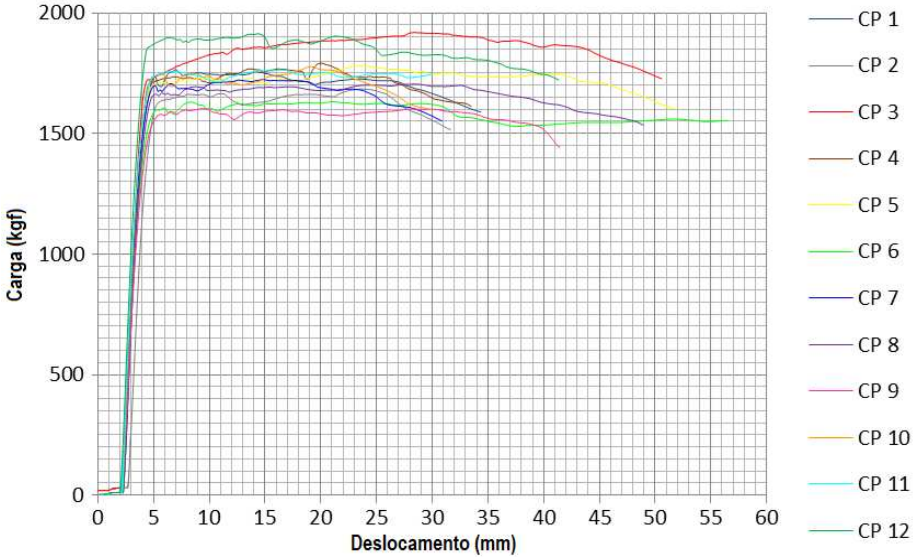


O primeiro ensaio foi guiado pela NBR 5739 (ABNT, 1994) - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos, a qual determina que os corpos-de-prova cilíndricos utilizados no ensaio de compressão axial devem possuir altura (h=190 mm) equivalente ao dobro de seu diâmetro ($d_{externo}$=95 mm). Foram ensaiados 12 tubos de papelão, sendo todos com 10 mm de espessura e 75 mm de diâmetro interno [14].

Para a realização deste ensaio, o carregamento utilizado foi constante de 0,01 MPa/s. Atribuiu-se o valor de 0,01 Mpa/s para que a velocidade e a carga aplicada fossem bem baixas, de forma que não comprometesse o ensaio, uma vez que quando a velocidade é muito alta ocorre o esmagamento do CP. Dessa forma, o ensaio visava a demonstração da deformação lenta do material [14].

A figura 6 mostra o gráfico de carga x deslocamento após a realização de compressão axial nos corpos de prova com 190 mm de altura.

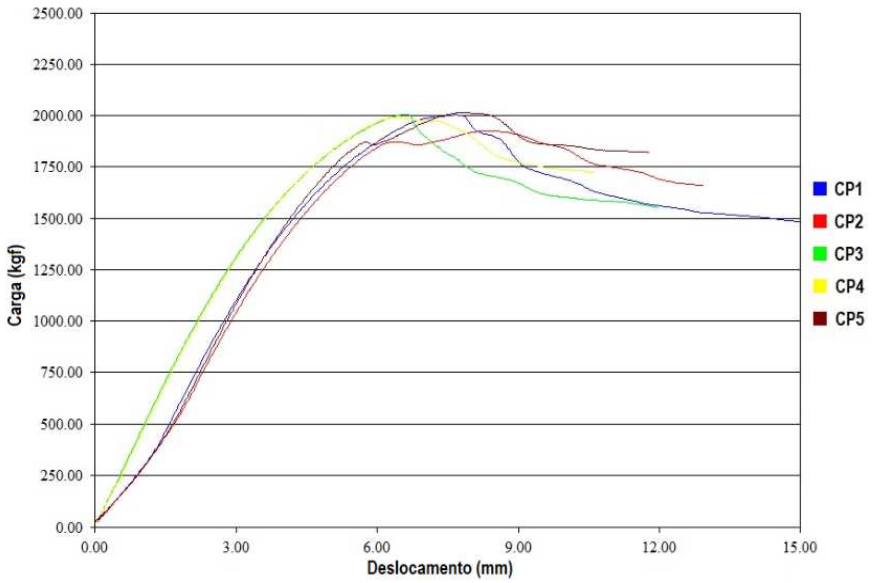
Figura 6 - Gráfico do ensaio de resistência à compressão para os 12 corpos-de-prova [14].



Após análise dos dados do gráfico anterior, Dias ressaltou que os corpos-de-prova tiveram um comportamento parecido (valores de carga entre 1580 e 1896 kgf até o final do regime elástico). Os valores foram considerados satisfatórios analisando o material, a densidade e a espessura [14].

Posteriormente, ensaiou-se cinco corpos-de-prova com dimensões de 95 x 950 mm, sendo estes valores para diâmetro externo e altura, respectivamente, verificando assim a estabilidade do material e a resistência à compressão axial. Para este ensaio, atribuiu-se uma velocidade de carregamento bem baixa para que a carga fosse aplicada de forma bem lenta e não comprometesse o ensaio. A velocidade de aplicação de carga foi de 1,0mm/min [14]. Na figura 7 pode-se ver o gráfico de carga x deslocamento após a realização do ensaio.

Figura 7 - Gráfico do ensaio de compressão para os corpos-de-prova com 950 mm [14].



Os valores de carga máxima mantiveram-se entre 1925 e 2016 kgf (até o final do regime elástico), tais valores podem ser considerados satisfatórios considerando a altura do corpo-de-prova, o material, a densidade e a espessura [14].

Além do mais, não foi identificada qualquer proporcionalidade entre os valores obtidos para os ensaios com corpos-de-prova com alturas de 190 e 950 mm, visto que os valores de carga máxima suportada foram relativamente próximos. Além disso, não foram identificadas flechas nos tubos com 950 mm já que o deslocamento horizontal máximo (após a leitura no extensômetro) foi de aproximadamente 4 mm, não havendo, dessa forma, perda de estabilidade [14].

Para definir se um material é viável tecnicamente, deve-se avaliar algumas propriedades mecânicas como tração e compressão (σ), módulo de elasticidade (E), máxima deformação (ε), coeficiente de Poisson (v) e módulo de cisalhamento (G). Na tabela 1 pode-se verificar essas propriedades quando o carregamento é paralelo as fibras que compõem o papelão ou perpendicular a elas [11].

Tabela 1 – Propriedades mecânicas do papelão [11].

	E	σ_t	σ_c	ε_t	ε_c	v	G
	[GPa]	[Mpa]	[Mpa]	[%]	[%]		[GPa]
MD	2 - 20	15 - 45	$1/3 * \sigma_{t,MD}$	1.5 – 2.5	$1/4 * \varepsilon_{t,MD}$	0.4	$1/3 * (E_{MD} E_{CD})^{1/2}$
CD	$1/4 - 2/3 * E_{MD}$	$1/3 - 1/2 * \sigma_{t,MD}$	$1/2 * \sigma_{c,MD}$	3.0 – 4.0	$1/5 * \varepsilon_{t,CD}$	0.1	

t = tração c = compressão MD = direção paralela CD = direção perpendicular

Dessa forma, pode-se afirmar que após a análise dos dados obtidos nos ensaios e com base nos valores apresentados na tabela acima, os tubos de papelão constituem uma solução viável tecnicamente, uma vez que apresentam boa resistência a compressão e tração, considerando-se as características do material, como a densidade e a espessura.

Além das características do comportamento do material quando submetidos a determinados carregamentos, outro fator importante para a análise da viabilidade técnica é a durabilidade. No caso do papelão, a resistência e rigidez do material são fortemente influenciadas pela facilidade com a qual a umidade penetra. O papelão por ser um material hidroscópico, tem facilidade para absorver água (inclusive da atmosfera) e diante disso faz-se necessário aplicar tratamentos químicos para impermeabilização do material para evitar a absorção de água e consequentemente o enfraquecimento e a deformação excessiva do material [11].

Observando as obras de Shigeru Ban e as pesquisas desenvolvidas, nota-se que o tubo de papelão possui potencial para compor um sistema estrutural leve e ao mesmo tempo durável e resistente, capaz de suportar os esforços atuantes na estrutura e redirecioná-los à fundação.

2.2. Viabilidade econômica

Devido aos problemas encontrados pela geração de Resíduos de Construção Civil (RCC), tem-se pensado em soluções para minimizar o impacto ambiental. Atualmente, existem várias tecnologias empregadas para a reciclagem total ou parcial dos resíduos da construção civil com viabilidade econômica, já que é possível reduzir os custos na compra e extração matéria prima [15] [16] [17]. Dessa forma, a utilização do RCC deixa de ser um problema e torna-se uma opção sustentável, minimizando a extração dos recursos naturais [18].

Além de reduzir o consumo de recursos naturais, a reciclagem de resíduos contribui para a preservação do meio ambiente, já que se diminui o risco de contaminação do solo e dos lençóis freáticos, como também se diminui o consumo de energia para a produção de novos materiais. No mais, ao diminuir os custos de produção dos materiais utilizados na construção, pode-se reduzir significativamente o custo final das habitações [19].

A relação entre os materiais e a arquitetura é um constate desafio, já que buscam-se constantemente soluções mais ecológicas e viavelmente econômicas, que atendam às características exigidas em cada projeto [20].

Em obras de construção civil, o custo é um grande desafio enfrentado pelos projetistas, pois não é simples obter uma solução que atenda a todos os requisitos e exigências com qualidade e ainda seja viável economicamente [14].

Diferentemente dos outros materiais de construção como, por exemplo, o aço que necessita de processos complexos para a sua fabricação e reciclagem; o papelão é um resíduo abundante no mundo todo e não necessita passar por nenhum processo de transformação para ser reciclado, tornando-o bastante atrativo do ponto de vista econômico [4]. Dessa forma, o papel pode ser reciclado e gerar tubos de papelão com aplicação na construção civil, sendo elementos de baixo custo e que geram pouco impacto ambiental, tornando-os uma alternativa sustentável e viável economicamente [21].

Os tubos de papelão podem compor obras com custo relativamente menor quando comparadas as construções com materiais convencionais devido ao material reciclado, rapidez para execução das

obras e não necessitam de outros acabamentos para a sua finalização, apenas a sua impermeabilização. Entretanto, deve-se avaliar outros quesitos como dimensão da obra e os materiais associados para o encaixe entre os tubos, já que obras maiores necessitam de uma grande quantidade de pessoas e o encaixe pode ser feito por elementos de madeira ou aço, podendo aumentar significativamente o custo final da construção [7].

Para que um material seja considerado viável economicamente devem-se considerar fatores como a disponibilidade de matérias-primas e o consumo de água em cada fase do ciclo de vida do material, bem como a sua origem, já que a escolha de materiais fabricados localmente impulsiona as economias regionais e limita os custos com transporte [20].

Na tabela 2 demonstram-se os valores da tabela SINAPI [22], comparando-se os custos dos materiais utilizados para a construção de pilares com 3 m de altura em madeira, aço e concreto. Frisa-se que nesta tabela são apresentados apenas os valores dos materiais, ou seja, excluiu-se o valor de mão de obra para execução ou outros elementos estruturais necessários, como fundações.

Tabela 2 – Estimativa de custo para pilares de madeira, concreto e aço [22].

Código	Descrição do material	Un.	Custo/un.	Custo	Custo Total
35276	PILAR DE MADEIRA NAO APARELHADA 20 X 20 CM, MACARANDUBA, ANGELIM OU EQUIVALENTE DA REGIAO	M	R$ 111,49	R$334,47	R$334,47
4773	PERFIL "I" DE ACO LAMINADO, "W" 250 X 44,8	M	R$ 264,29	R$792,87	R$792,87
1346	CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA PLASTIFICADA PARA FORMA DE CONCRETO, DE 2,20 x 1,10 M, E = 10 MM	M²	R$ 21,82	R$52,37	R$ 171,37*
34493	CONCRETO USINADO BOMBEAVEL, CLASSE DE RESISTENCIA C25, COM BRITA 0 E 1, SLUMP = 100 +/- 20 MM, EXCLUI SERVICO DE BOMBEAMENTO (NBR 8953)	M³	R$ 250,03	R$30,00	
92776	ARMAÇÃO DE PILAR OU VIGA DE UMA ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO EM UMA EDIFICAÇÃO TÉRREA OU SOBRADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 6,3 MM - MONTAGEM. AF_12/2015	Kg	R$ 11.18	R$ 27,95	
92778	ARMAÇÃO DE PILAR OU VIGA DE UMA ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO EM UMA EDIFICAÇÃO TÉRREA OU SOBRADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 10,0 MM - MONTAGEM. AF_12/2015	Kg	R$ 8.25	R$61,05	

* valor calculado para um pilar com seção transversal de 20 x 20 cm.

Com relação aos tubos de papelão, não foram encontrados valores na tabela SINAPI, contudo em 2011 foram desenvolvidos alguns painéis modulares compostos por tubos de papelão para vedação vertical, testando a sua resistência mecânica. Além da análise técnica, foi realizado um comparativo entre custo e tempo de execução entre a solução desenvolvida e os métodos convencionais (alvenarias e painéis cimentícios e de gesso acartonado) utilizados para vedação vertical. Segundo a autora, a economia dos custos pode chegar a 33% e o tempo de execução pode ser reduzido em 82%, considerando-se a execução da vedação com alvenaria em uma parede externa com 19 cm de espessura e utilizando-se bloco cerâmico furado de 9 cm x 19 cm x 19 cm [7].

Sendo assim, considerando-se os dados acima, nota-se que o papelão pode ser uma solução viável economicamente, já que sua aplicação e execução apresentam um custo bastante inferior aos principais métodos construtivos para fechamento vertical, executados no Brasil. No mais, frisa-se que apesar da diminuição dos custos, o material ainda apresenta a qualidade mínima exigida para a concepção de diversas obras, o que viabiliza sua aplicação na construção civil.

2.3. Sustentabilidade ambiental

Além dos termos técnicos e econômicos que se atribuem positivamente as obras de Shigeru Ban, a sustentabilidade é uma característica muito importante e que se faz presente em suas obras. A relação de força e sustentabilidade depende da técnica e do quão duradouro o material é, possibilitando enxergar que os três pontos (econômico, técnico e de sustentabilidade) estão interligados entre si [23].

A sustentabilidade, termo que surgiu para que houvesse remediação dos impactos ambientais em geral pensando nas gerações futuras que deveriam ter o mesmo direito a um meio ambiente saudável que as gerações atuais, é também voltada a construção civil. Seu intuito é procurar maneiras de desenvolver projetos de menor impacto ambiental, com a escolha correta de materiais e um sistema de construção que se adeque ao meio, considerando os impactos que as escolhas podem acarretar, além de analisar se há um satisfatório desenvolvimento energético e se a localização pode interferir nas características relevantes da edificação [24] [25].

Dentre os impactos causados ao meio ambiente por meio da construção civil, o que mais se destaca é o consumo de energia exacerbado em todo o processo, desde a extração até o processo final, ameaçando constantemente o esgotamento de matéria prima, sendo o grande empecilho para que seja possível o desenvolvimento sustentável. Como o desenvolvimento sustentável se depara com alguns obstáculos foram criados planos de desenvolvimento e aplicações que devem reverter este quadro, instruindo o seguimento de regras a serem acatadas para a exploração e a distribuição de recursos [2] [26].

Atualmente pesquisadores com um olhar diferente dos antecessores, que visavam somente o ganho e o desenvolvimento, vêm estudando avanços com um olhar sustentável, com a pretensão de respeitar o meio ambiente e os seres que ali habitam, levando assim os edifícios a terem um ciclo de vida diferente, possibilitando melhor vida útil e a diminuição de impactos que a construção poderia causar [23] [2].

Para que a construção seja sustentável é de suma importância que sejam feitas construções com o uso racional de matérias primas e um uso mais intenso de materiais recicláveis e reutilizáveis, porém, estes materiais devem ser escolhidos de acordo com o meio, sendo necessário levar em consideração a origem dos materiais, se há a emissão de poluentes, a qualidade e durabilidade do material, dentre outras características que podem apontar se a obra é ou não sustentável [26].

A intenção das construções sustentáveis é fazer com que os impactos sejam proporcionais aos pontos positivos formando um equilíbrio entre os resultados positivos e negativos. Uma das maneiras em que a sustentabilidade pode ser aplicada é através da reciclagem de materiais que não são usuais na construção civil como: pneu, isopor, garrafa PET, lata, papelão etc., que são introduzidos no ciclo da construção substituindo outros materiais, porém não são somente estes os pontos abordados, sendo necessário ter uma análise muito mais detalhada da construção para concluir se a mesma é sustentável ou não [27]. Na Conferência Mundial sobre Construções Sustentáveis, que foi sediada nos Estados Unidos da América em 1994, foram estipulados alguns princípios necessários para que a construção seja sustentável, sendo eles os citados a seguir [28]:

- Fazer o uso de recursos renováveis e recicláveis;
- Intensificar a reutilização de recursos;
- Moderar o uso de recursos;
- Preservar o ambiente natural;
- Criar um ambiente salubre;
- Impulsionar alta qualidade ao desenvolver o ambiente construído.

Como já mencionado, o papelão é um dos materiais que podem ser reutilizados na construção civil. Como nas obras efetuadas por Shigeru Ban e dependendo da forma de aplicação, o papelão pode tornar a construção sustentável, já que além de ser reutilizado deve também se enquadrar nos princípios da Conferência Mundial sobre Construção Sustentável.

As construções que provém dos estudos de Shigeru Ban tornam a construção civil mais sustentável por reduzir os resíduos sólidos gerados nas obras, porém não é somente este ponto que atribui este título a estas construções, pois é necessário ir mais a fundo analisando outros pontos que são de interesse comum a toda a população interessada em sustentabilidade na construção civil [29].

Analisando algumas obras em que Shigeru Ban utiliza os elementos tubulares de papelão como matéria primordial é possível identificar e apresentar pontos que o tornam sustentável. Uma das obras construídas por Shigeru Ban escolhida para análise foi a igreja católica situada em Kobi, no Japão. A obra construída em 2007, com o intuito de substituir uma anterior de caráter temporário, conscientizou a todos ao entorno, introduzindo educação ambiental para a população, abordando a eficiência de materiais simples com alta durabilidade e que apresentam uma considerável economia, considerando-se o valor que seria aplicado em uma construção convencional [30].

Outra obra que pode representar a sustentabilidade no uso de tubos de papelão é a uma construção realizada em 2010, que possuiu atributo de ato humanitário, pois foi desenvolvida no Haiti após um terremoto. Nesta construção, Ban em conjunto com voluntários construiu 50 abrigos compostos por tubos de papelão e outros materiais locais, sendo todos reciclados, tendo baixo investimento e alta consciência social. Os abrigos temporários do Haiti além de estabelecerem um refúgio à população desabrigada, ainda detinham a facilidade de serem desmontados após o fim do seu uso [30].

Mais recentemente, em 2016, Ban efetuou outra obra de cunho social, construindo abrigos com tubos de papelão para a população do Equador que foi atingido por um forte terremoto. O arquiteto buscou atender as necessidades de orçamento local, e ainda assim possibilitou à população desabrigada um ambiente de moradia temporário para aliviar a situação de emergência.

Com o uso dos tubos de papelão, Ban pôde produzir não só as construções citadas, mas também outras dezenas de edificações, viabilizando a introdução da educação ambiental a diversos povos e culturas através do emprego de um produto reciclável, que teria por destino o descarte em aterros. As obras de Ban incentivam e intensificam o uso um material não convencional, que é de fácil acesso, estando disponíveis em todos os lugares do mundo, deixando de lado o uso exacerbado de matérias primas usuais.

Além da educação ambiental que ocorre para toda a população beneficiada, com a aplicação do papelão reciclado é possível um remodelamento do uso de recursos, fazendo com que este seja procurado em diversas situações. Dessa forma, possibilita-se a preservação de um ambiente que não seria preservado com o uso de outros materiais, e através da preservação é possível gerar um ambiente salubre, trazendo qualidade para toda a população em geral.

3. CONCLUSÕES

A partir de pesquisas em fontes renomadas e tomando por base os trabalhos criados e desenvolvidos por Shigeru Ban, foi possível identificar que suas construções com elementos tubulares em papelão são estáveis e resistentes. Mesmo com a utilização de um material visto como sensível, os tubos de papelão são uma solução viável em termos técnicos e podem ser aplicados em diversas obras. Mesmo com diâmetros e espessuras relativamente pequenas, possuem boa resistência e bom desempenho estrutural, além de serem facilmente substituíveis, leves, não requerem tecnologias complexas para serem fabricados e oferecem praticidade no transporte e manuseio.

Além de serem tecnicamente viáveis, os elementos tubulares de papelão podem ser uma opção para problemas econômicos, já que para o seu desenvolvimento e execução na obra, apresentam custo relativamente inferior quando comparado a métodos construtivos convencionais que utilizam, por exemplo, concreto, madeira ou aço.

Por fim, através da análise feita nas obras de Ban foi possível entender que além de desenvolver seu estudo pensando na alta qualidade de suas obras e na economia pela escolha do material, estas construções também apresentam diversas características que a tornam sustentável, já que pensa-se no meio ambiente e na população que habita em seu entorno, além dá utilização de um material que pode ser reutilizado e reciclado.

Dessa forma, conclui-se que o papelão é viável tecnicamente, economicamente e ambientalmente, já que uma obra não pode ser considerada completa em excelência se não houver a presença dos três pontos analisados.

4. REFERÊNCIAS

1. RIBEIRO, D.; MOURA, L. S.; & PIROTE, N. S. **Sustentabilidade: Formas de Reaproveitar os Resíduos da Construção Civil**. Revista de Ciências Gerenciais, 2016. Disponível em http://revista.pgsskroton.com.br/index.php/rcger/article/view/3880/3230. Acesso em 15 de fevereiro de 2019.

2. SIMAS, L. S. L.; SANTANA, L. C. **Construção Sustentável - Uma nova modalidade para administrar os recursos naturais para a construção de uma casa ecológica.** Cairu em Revista, p.06-14, 2012. Disponível em: https://www.cairu.br/revista/arquivos/artigos/2012_2/11_Construcoes_Sustentaveis_Leonardo_Simas_140_162.pdf. Acesso em 17 de fevereiro de 2019,

3. GRIGOLETTO, I. C. **Reaproveitar e reciclar o papel: proposta de conscientização da preservação ambiental.** (Monografia de especialização). Santa Maria, RS: Universidade Federal de Santa Maria, 2011.

4. SALADO, G. C. **Construindo com tubos de papelão: um estudo da tecnologia desenvolvida por Shigeru Ban.** Dissertação (mestrado). São Carlos: Universidade de São Paulo: Escola de Engenharia de São Carlos, 2006.

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

6. JODIDIO, P. **Shigeru Ban: Complete Works 1985-2015**. Taschen, 2015.

7. SALADO, G. C. **Painel de vedação vertical de tubos de papelão: estudo, proposta e análise de desempenho.** Tese (doutorado). São Carlos: Universidade de São Paulo: Escola de Engenharia de São Carlos, 2011.

8. SALADO, G. C. **Diferentes Alternativas de Materiais e Técnicas Construtivas**. Trabalho Final de Graduação. São Paulo: Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Presbiteriana Mackenzie, 2003.

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

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

11. EECKOUT, M. *et al.* **Cardboard in architecture.** Holanda: IOS Press, 2008.

12. VACCARI, M. **Habitação ecológica e econômica em papel.** In: Anais do III Encontro Nacional sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis (III ENECS). São Carlos, 2003. P. 67-80.

13. SALADO, G. C. **Estudo de resinas para a proteção contra a incidência solar e umidade em painéis de vedação vertical modulares de tubos de papelão.** Relatório (pós-doutorado). São Carlos: Universidade de São Paulo: Instituto de Arquitetura e Urbanismo, 2015.

14. DIAS, N. S. **Estudo e proposta de sistema estrutural com tubos de papelão.** Relatório (Iniciação Científica). Limeira: Universidade Estadual de Campinas: Faculdade de Tecnologia, 2017.

15. ZORDAN. S. E. **A utilização do entulho como agregado, na confecção do concreto**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Campinas, São Paulo. 140p. 1997.

16. PINTO, T. P. **Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana.** Tese (Doutorado) - São Paulo: Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 218p,1999.

17. CARNEIRO, F. P. **Diagnóstico e ações da atual situação dos resíduos de construção e demolição na cidade do Recife**. João Pessoa, PB: Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Paraíba, Paraíba. 134p. 2005.

18. BARBOSA, J. **Destinação dos resíduos sólidos de construção e demolição do Município de Passo Fundo- RS: Desafios e Perspectivas.** Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) Passo Fundo: Universidade de Passo Fundo, Rio Grande do Sul. 63p.,2012.

19. MONTEMOR, M. F. G. C; GONÇALVES M. C. H. B.; MARGARIDO F. M. R. C.; COLAÇO, R. A. C **Materiais de construção: guia de utilização**. Lisboa: Loja da Imagem, 2005.

20. COSTA, M. I. S. R. **A descontextualização de objetos correntes para materiais de construção: o caso da aplicação dos tubos de papel de Shigeru Ban.** Dissertação (Mestrado). Lisboa – PT: Universidades Lusíada, 2015.

21. SANTOS, A. A. R. **Tecnologia construtiva utilizando tubos de papelão.** São José dos Campos: Universidade do vale do Paraíba – Univap, XIII SA Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e IX Encontro Latino Americano de Pós-Graduação, 2011.

22. SINAPI – Sistema Nacional de Preços e Índices para a Construção Civil. Disponivel em: http://www.caixa.gov.br/site/Paginas/downloads.aspx#categoria_664. Acesso em 23 de agosto de 2019.

23. VACCARI, M. **Environmental Assessment of Cardboard as a Building Material.** MSc in Energy Efficient and Sustainable Building. Oxford: Oxford Brookes University - School of Built Environment, 2008.

24. FREITAS, C. M *et al*. **Problemas ambientais, saúde coletiva e ciências sociais**. Ciência e saúde coletiva, p.137-150, 2003.

25. SATTLER, M. A. **Habitações de baixo custo mais sustentáveis: A casa alvorada eo centro experimental de tecnologias habitacionais sustentáveis.** Porto Alegre: Coleção HABITARE / FINEP, 2007.

26. WIECZYNSKI, V. J.; SEHNEM, S. **Construções mais sustentáveis: alternativas para uma habitação de baixo custo.** Pinhalzinho, SC, 2014. Disponível em: http://www.uniedu.sed.sc.gov.br/wp-content/uploads/2015/02/Artigo-Vlademir-Jos%C3%A9-Wieczynski.pdf Acesso em 17 de fevereiro de 2019.

27. MANHÃES, G. S.; ARAUJO, R**. Sustentabilidade nas construções. Humanas Sociais & Aplicadas**, p.4, 11, 2014.

28. PINHEIRO, M. D. **Construção sustentável: mito ou realidade.** Lisboa: VII Congresso Nacional de Engenharia do Ambiente, 2003. Disponível em https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/377957124205 8/PaperAPEA_ConstrucaoSustentavel .pdf. Acesso em 03 de março de 2019.

29. ASSIS, J. R.; SALADO, G. C. **Tubos de Papelão.** VII Encontro de Sustentabilidade em Projeto. Santa Catarina, 2019.

30. CAMARGO, B. S.; SALADO, G. C. **Sustentabilidade no uso de tubos de papelão aplicados na construção civil.** VII Encontro de Sustentabilidade em projeto. Santa Catarina, 2019.