



Revista Interdisciplinar do Pensamento Científico. ISSN: 2446-6778
Nº 1, volume 1, artigo nº 20, Janeiro/Junho 2015
D.O.I: <http://dx.doi.org/10.20951/2446-6778/v1n1a20>

LEVANTAMENTO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE TUBETES DE PAPELÃO PARA APLICAÇÃO NA ENGENHARIA

BARBOSA, Vinícius de Oliveira¹

Graduando em Engenharia Mecânica

SILVA, Priscila Dias²

Graduanda em Engenharia Mecânica

PONTES, Anderson Padilha³

Graduando em Engenharia Mecânica

OLIVEIRA JUNIOR, Juvenil Nunes⁴

Engenheiro Mecânico e Mestre em Engenharia e Ciência dos Materiais

SOUZA, Victor Barbosa de⁵

Engenheiro Mecânico e Mestre em Engenharia Mecânica

Resumo

A inovação sustentável aliada à necessidade de utilização de novos materiais de qualidade e baixo custo foi o ponto inicial deste estudo. Os tubetes de papelão é um material versátil, podendo ser utilizado várias vezes, além de serem baratos e leves. O objetivo desse trabalho foi o conhecimento de algumas propriedades mecânicas de tubetes de papelão para que possam ser aplicados em projetos de engenharia. Foram utilizadas normas técnicas brasileiras (NBR's) para os ensaios, que foram: Compressão axial, compressão diametral e flambagem. Ao final foi realizado um ensaio de absorção de água, buscando justificar a necessidade de se impermeabilizar o material para aumentar a vida útil. Foram utilizados tubetes com espessura de 2, 4 e 5 mm, sendo estes recolhidos em gráficas de Itaperuna-RJ. A preparação dos ensaios foi dividida em três etapas: primeiramente os

¹ Faculdade Redentor, Graduação em Eng. Mecânica, Itaperuna-RJ, mech.barbosa@gmail.com

² Faculdade Redentor, Graduação em Eng. Mecânica, Itaperuna-RJ, diassilva_priscila@hotmail.com

³ Faculdade Redentor, Graduação em Eng. Mecânica, Itaperuna-RJ, andersonpontos@ig.com.br

⁴ Instituto Federal Fluminense, Ensino Técnico e Tecnológico, Itaperuna-RJ, juvenil.junior@iff.edu.br

⁵ Faculdade Redentor, Graduação em Eng. Mecânica, Itaperuna –RJ, prof.victorbsouza@gmail.com

tubetes foram recolhidos e selecionados, depois foi feita a confecção dos corpos de provas conforme as normas térmicas e por último foi feita a secagem dos tubetes. A média dos resultados do ensaio de compressão axial variaram entre 1.400 N, para a espessura de 2,0 mm, a 6.580 N para a espessura de 5,0 mm. Nos ensaios de compressão diametral, os resultados variaram entre 105 N, para espessura de 2,0 mm, e 272 N para a espessura de 5,0 mm. Já nos ensaios de flambagem os resultados variaram entre 1.100 a 4.200 N. As amostras ensaiadas possuem absorção de umidade entre 30 e 45%, sem nenhum tipo de proteção. Após a análise completa dos resultados foi possível concluir que é viável utilizar tubetes de papelão em sistemas construtivos, pois apresentam forma tubular agregando resistência e estabilidade. Além disso, estes sistemas compõem uma construção muito leve e não necessitam de fundação complexa.

Palavras-chave: Tubos de papelão; Materiais alternativos; Engenharia Sustentável.

Abstract

Sustainable innovation combined with the need to use new quality materials and low cost was the starting point of this study. The cardboard tubes is a versatile material that can be used several times in addition to being cheap and light. The objective of this work was the knowledge of some mechanical properties of cardboard tubes so that they can be applied to engineering projects. Brazilian technical standards were used (NBR's) for tests, which were: axial compression, diametrical compression and buckling. At the end it conducted a water absorption test, seeking to justify the need to waterproof the material to extend the life. Tubes were used with a thickness of 2, 4 and 5 mm, these being collected in graphic Itaperuna RJ. The preparation of the test was divided into three stages: firstly the tubes were collected and screened after preparation was made of test bodies as thermal and finally drying standards was taken from the tubes. The average result of the axial compression test ranged from 1400 N, to a thickness of 2.0 mm at 6580 N to a thickness of 5.0 mm. In diametral compression tests, the results ranged from 105 N to 2.0 mm thick, and 272 N to a thickness of 5.0 mm. Already in the buckling test results ranged from 1100 to 4200 N. The test samples have moisture absorption between 30 and 45%, without any protection. After a complete analysis of the results, it was concluded that it is feasible to use cardboard tubes in construction systems, since they have tubular adding strength and stability. Furthermore, these systems comprise a very lightweight and do not require complex foundation.

Keywords: Cardboard tubes; Alternative materials; Sustainable Engineering.

1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento tecnológico vem acelerando a exploração de recursos materiais ofertados pelo planeta. Em contrapartida, o impacto ambiental é o preço pago pela evolução, causando inúmeros problemas à Terra, e conseqüentemente, aos humanos. Em vista disso, pesquisas que buscam novos materiais ou fontes de energia tem se proliferado no meio científico.

O tubete de papelão é um material bastante versátil e pode ser utilizado de diversas maneiras, possibilitando sistemas construtivos variados que, muitas vezes, geram obras arquitetônicas arrojadas (SALADO, 2006). A atratividade em se utilizar tubos de papelão na

construção civil dá-se por estes serem baratos, facilmente realocados 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 (BAN, 2014).

Um projeto de engenharia baseado em inovação tecnológica deve possuir as seguintes características: rápido fornecimento, baixo custo, flexibilidade de adaptação ao terreno, fácil montagem/desmontagem que permita a participação do usuário. Outro ponto é possuir princípios sustentáveis e funcionais, aliando eficiência e diretrizes lógicas para o design do produto. Segundo Firno (2003), como os tubos apresentam seções transversais circulares ocas, as seguintes vantagens são atribuídas a sua geometria: ótimo desempenho à compressão e à torção; ausência de flambagem lateral com torção; e a possibilidade de utilizar e aproveitar o seu interior.

O arquiteto japonês Shigeru Ban é responsável por diversas obras arquitetônicas que utilizam o tubo de papelão como elemento estrutural, dentre elas, o Pavilhão de Odawana (Japão). Shigeru Ban explorou e desenvolveu diversos sistemas construtivos utilizando tubos de papelão, como os arcos e as geodésicas, que são estruturas espaciais utilizados para vencer grandes vãos.

O objetivo geral deste trabalho é o estudo das propriedades mecânicas de tubetes de papelão para utilização em projetos de engenharia.

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- Analisar resultados de diversos ensaios feitos com tubetes de papelão;
- Provar a resistência estrutural aceitável para utilização deste material em projetos de engenharia;
- Analisar resultados da degradação do material após o ensaio de absorção;
- Justificar o emprego da impermeabilização do material.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais

Os tubetes de papelão utilizados nos experimentos foram fornecidos pela gráfica Artcoim e pelo Escritório Escola da Faculdade Redentor, ambos situados no município de Itaperuna-RJ.

Nos ensaios de absorção de água foi empregado o verniz acrílico a base de água como forma de proteção dos tubetes de papelão.

2.2 Metodologia

Foram realizados dois ensaios mecânicos, compressão axial e diametral, e um

ensaio de absorção de água, para obtenção das propriedades dos tubetes de papelão. Na Figura 01 são apresentadas as etapas que precederam a realização dos ensaios.

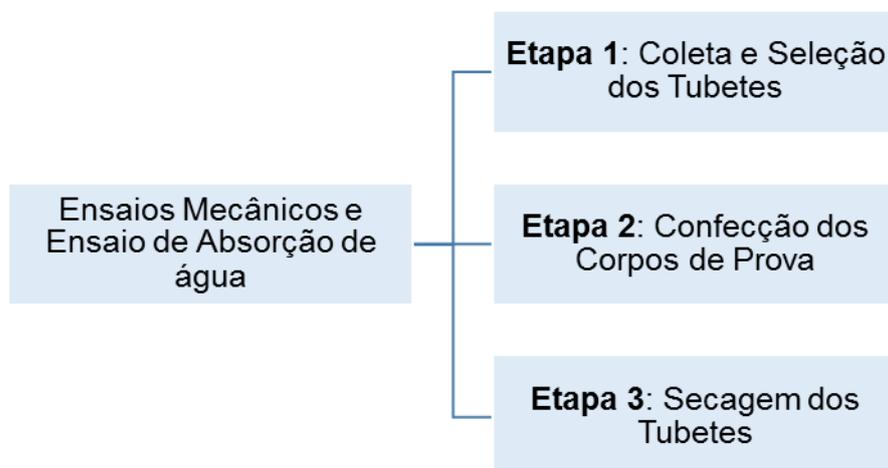


Figura 01 – Etapas que precederam os ensaios mecânicos e de absorção de água.

Na etapa 1 foi realizada a coleta dos tubetes, de acordo com a seção 2.1, e a seleção foi feita de acordo com a espessura da parede dos tubetes. Foram selecionados os tubetes com espessura de 2, 4 e 5 mm. Os tubetes que apresentavam avarias foram descartados.

Durante o período anterior aos ensaios, os tubetes foram armazenados de forma segura, evitando exposição à luz do sol, variações climáticas consideráveis e umidade.

Na etapa 2 os tubetes tiveram descartado 100 mm em cada uma das extremidades, seguindo as orientações descritas nas normas ABNT NBR ISO 11093-9:2009 - Papel e cartão - Ensaio de tubetes - Parte 9: Determinação da resistência ao esmagamento e ABNT NBR 14257:1998 Papel e cartão - Tubetes - Determinação da umidade - Método por secagem em estufa. Na medição foi utilizado o paquímetro universal com resolução de inferior a 0,1mm.

E na etapa 3 para estabelecer o equilíbrio de umidade entre os corpos de prova e a atmosfera, os tubetes foram mantidos por 10 dias em uma estufa de secagem com temperatura de 105°C.

2.2.1 Ensaios Mecânicos

Foram realizados dois tipos de ensaios:

- **Resistência a Compressão Axial:** O ensaio foi orientado pela ABNT NBR ISO 11093-9:2009 - Papel e Cartão - Ensaio de tubetes - Parte 9: Determinação da resistência ao esmagamento, que determina o comprimento de 100 ± 1.5 mm em todos os pontos, para corpos de prova cortados de tubos com diâmetro interno nominal ≤ 300 mm. Neste ensaio,

foi utilizada uma máquina de ensaios da série KE, da Kratos Equipamentos, com uma célula de carga de 200 kN, onde os corpos de prova são posicionados entre as duas placas lisas paralelas entre si e submetidos à força uniaxial. O procedimento da norma orienta que o corpo de prova esteja centralizado entre as placas, e que seu eixo longitudinal fique perpendicular a elas. A velocidade de avanço ficou entre 55 e 65 mm/min.

• **Resistência a Compressão Diametral:** Para este ensaio, foi aplicada uma forma de compressão nos tubos posicionados paralelamente ao eixo. Os procedimentos, a norma e o equipamento adotados foram os mesmos do ensaio anterior.

2.2.2 Ensaio de Absorção de Água

A finalidade deste ensaio foi analisar o percentual de água absorvido nas amostras desprotegidas e protegidas, evidenciando a justificativa da importância da impermeabilização dos tubetes para sua maior durabilidade e emprego na engenharia.

Primeiramente, as amostras passaram por uma secagem em estufa em temperatura de 105°C. Durante o tempo de secagem, periodicamente, os corpos de prova passaram por pesagem em uma balança digital de precisão, buscando encontrar a massa constante. Para este procedimento foi utilizada a norma ABNT NBR 14257:1998 - Papel e cartão - Tubetes - Determinação de umidade - Método por secagem em estufa.

Neste ensaio foram utilizados 20 corpos de prova, com 4 mm de espessura, 100 mm de comprimento, sendo 10 sem aplicação de verniz e outros 10 com aplicação de verniz em toda área superficial do tubetes. O verniz foi aplicado utilizando um compressor, foram aplicadas 5 demãos de verniz e a secagem foi feita em um abrigo sem influência direta do sol. Após 24 horas de secagem, foram pesados novamente para melhor precisão dos resultados.

Quando definido a massa padrão (com os corpos de prova secos), os corpos foram imersos em um recipiente com 10 litros de água em uma temperatura ambiente e por um período de 24 horas.

Logo após este procedimento, os corpos de prova foram retirados da água e tiveram suas massas aferidas novamente.

Para calcular a porcentagem de absorção de água foi utilizada a seguinte equação:

$$\%AA = \left(\frac{CPM \times 100}{CPS} \right) - 100$$

Onde:

%AA: Porcentagem de Absorção de Água;

CPM: Massa do corpo de prova molhado;

CPS: Massa do corpo de prova seco.

3. RESULTADOS

3.1 Ensaios Mecânicos

Na Figura 02 são apresentadas as fotos de alguns ensaios realizados.

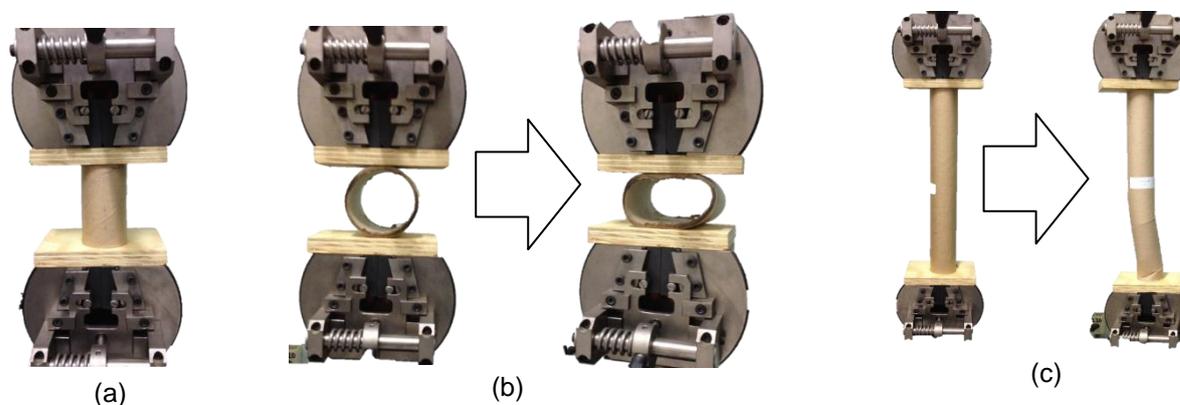


Figura 02 – Ensaios mecânicos realizados. Em (a) Ensaio de Compressão Axial, (b) Ensaio de Compressão diametral e (c) Ensaio de Flambagem.

A partir da análise dos gráficos, representados nas figuras a seguir, foi possível compreender o comportamento mecânico dos tubetes para os esforços ensaiados.

3.1.1 Ensaio de Compressão Axial

Nos ensaios de compressão axial, pode-se identificar comportamento similar entre os corpos de prova, no entanto, tal material não possui padrão comportamental. A Figura 03 apresenta os resultados do ensaio de compressão axial para os três tipos de espessura dos tubetes estudados. Através do resultado deste ensaio foi possível perceber que as amostras com 2,0 mm de espessura apresentaram uma pequena variação de comportamento, tendo como uma carga média de 1.400 N. As amostras com 4,0 mm de espessura também tiveram pouca variação entre os resultados encontrados, apresentando uma carga de compressão axial média de 4.950 N e tiveram valores superiores comparados com a espessura de 2,0 mm. Já os resultados para as amostras de 5,0 mm apresentaram a maior variação, obtendo uma carga média de 6.580 N, e valores relativamente superiores comparados com a espessura de 4,0 mm.

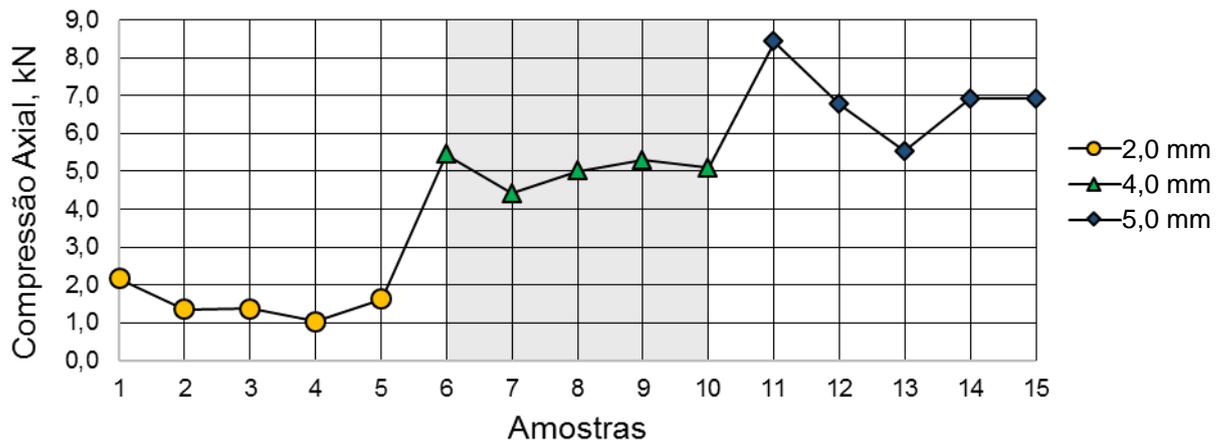


Figura 03 – Resultados dos valores máximos encontrados no ensaio de compressão axial para os três tipos de espessuras.

Na Figura 03, é mostrado um diagrama tensão (σ) *versus* deformação específica (ϵ) do ensaio de compressão axial das cinco amostras com espessura de 4,0 mm, onde nota-se que todas amostras apresentaram tensões máximas superiores a 10 MPa. Outro fator relevante, é que após certa deformação, a tensão suportada diminui gradativamente. Observa-se neste gráfico, que os valores de deformação para a queda de tensão não se repetem entre as amostras, reafirmando a não padronização do comportamento mecânico.

Para algumas amostras foi possível fazer uma analogia com o diagrama tensão *versus* deformação para materiais dúcteis, onde observa-se o limite de proporcionalidade, o escoamento, o endurecimento de deformação e a fratura.

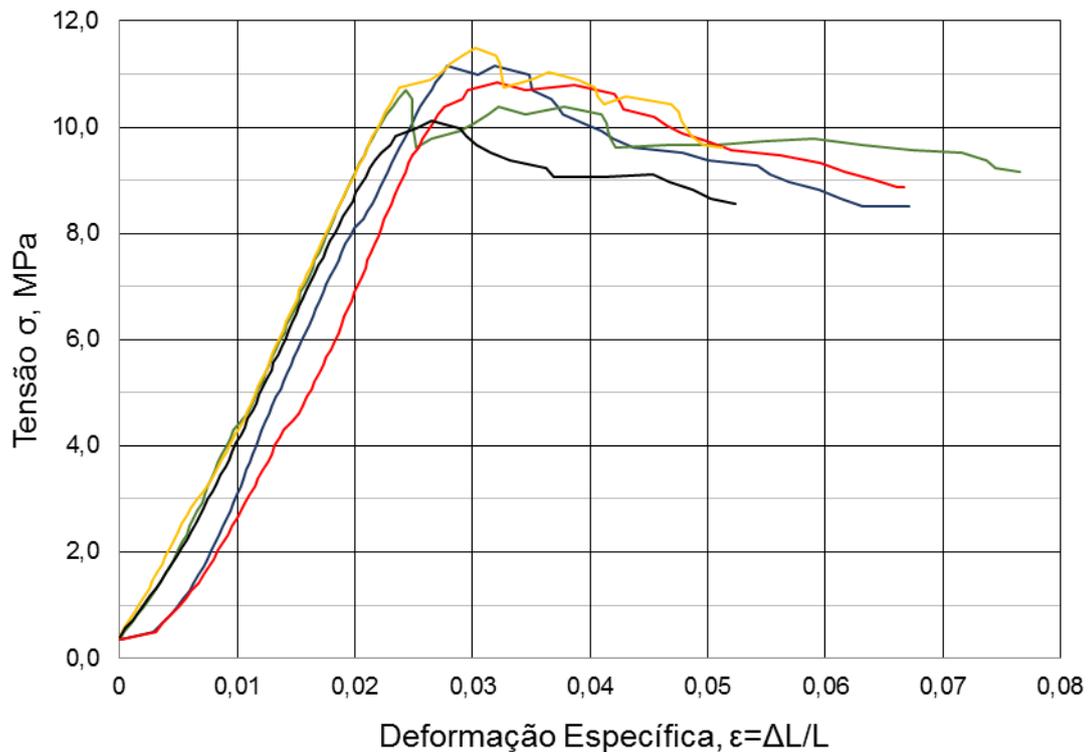


Figura 03 – Diagrama tensão versus deformação para ensaios de compressão axial, com cinco amostras de 4,0 mm de espessura.

3.1.2 Ensaio de Compressão Diametral

A Figura 04 apresenta os dados obtidos durante ensaio de compressão diametral. Uma das características identificadas na figura 04 é que tubetes de papelão não possuem padrão comportamental, demonstrando valores distintos entre si, ainda que para a mesma espessura. Para tubetes de 2,0 mm, a média de força suportada foi de 105 N. Já, para tubetes de 4,0 mm, a média aproximada foi de 230 N. Como esperado, a amostra de maior espessura, possui uma média de 272 N. Este resultado mostra uma pequena variação entre os resultados das espessuras 4,0 e 5,0 mm, que através da Figura 04 nota-se este comportamento.

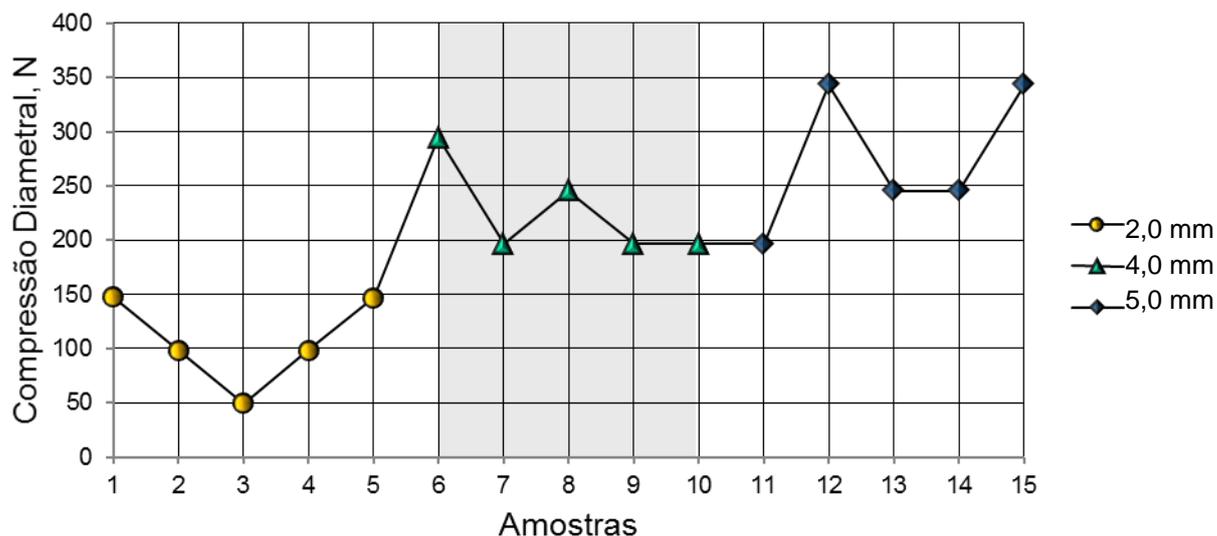


Figura 04 – Resultados dos valores máximos encontrados no ensaio de compressão diametral para os três tipos de espessuras.

Na Figura 04 é apresentado o gráfico de resistência à compressão por deslocamento para as amostras de 4,0 mm de espessura. Nota-se que nas três amostras ensaiadas, o ponto de maior resistência foi nas proximidades de 0,4 mm de deslocamento. Todas as amostras apresentaram o mesmo comportamento gráfico. Após determinado deslocamento de 6,0 mm a resistência à compressão se estabilizou e se manteve constante.

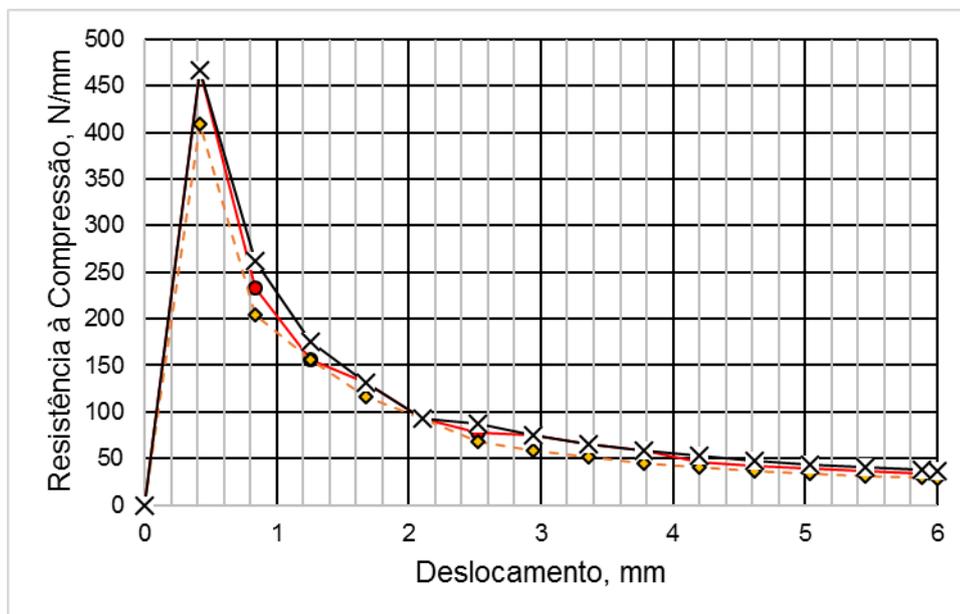


Figura 04 – Gráfico de resistência à compressão diametral por deslocamento horizontal.

O critério utilizado para a paralização dos ensaios, não foi a compressão total do

material, mas sim até o ponto onde a deformação foi visível. No entanto, buscou-se uma padronização da deformação aparente em paralelo ao tempo de ensaio, aumentando assim a confiabilidade dos resultados obtidos. Tal critério foi utilizado em razão da necessidade de se detectar o princípio da falha do material a olho nu, visto que este deverá ser utilizado em projetos não complexos de engenharia.

3.1.3 Ensaio de Flambagem

A Figura 05 apresenta os resultados para o ensaio de flambagem para os três tipos de espessuras estudadas. Dentre todos os ensaios, este é o que melhor demonstra uma falta de padronização comportamental do papelão. Os resultados médios obtidos no ensaio foram aproximadamente 1.100 N para tubetes de 2,0 mm, 2.700 N para 4,0 mm, e 4.200 N para 5,0 mm.

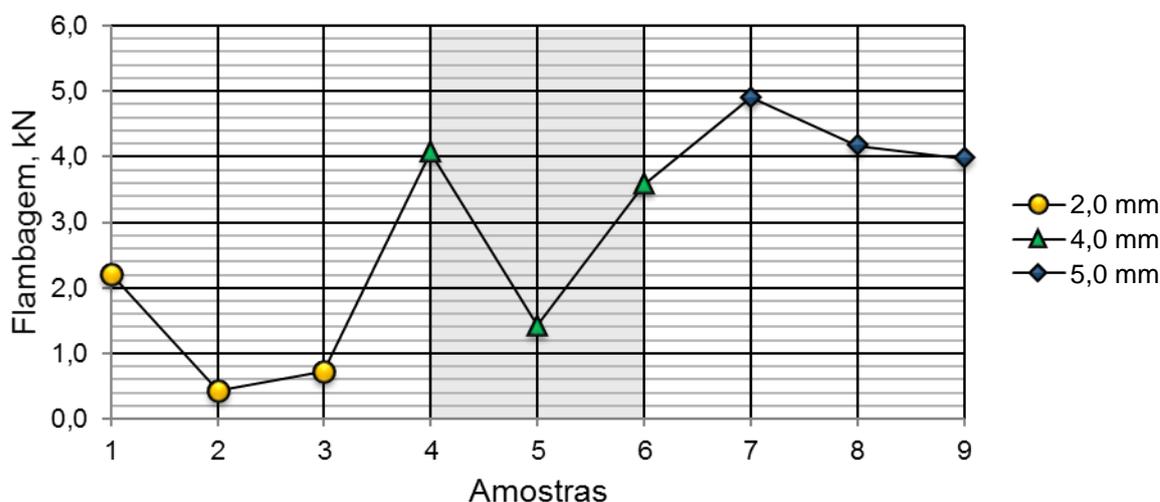


Figura 05 – Resultados do ensaio de flambagem para os três tipos de espessuras.

3.2 Ensaio de Absorção de Água

O ensaio de absorção de água para os três tipos de espessuras de tubetes estudadas é mostrado na Figura 06, onde as amostras de 2,0 mm absorveram aproximadamente a mesma quantidade de umidade, chegando ao valor médio aproximado de 100,0 % em função de seu peso. As amostras de 4,0 mm absorveram 113,4 %. Já, as de 5,0 mm, absorveram aproximadamente 91,2 %. O cálculo da porcentagem de absorção de água foi realizado de acordo com a fórmula apresentação na seção de materiais e métodos.

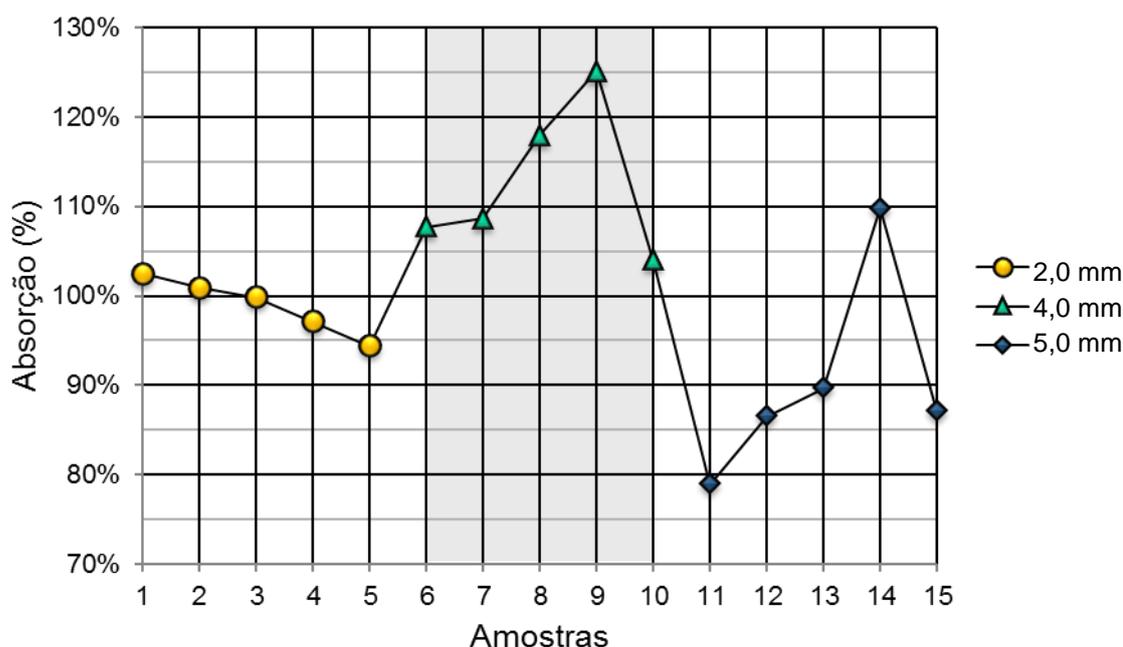


Figura 06 – Resultados do ensaio de absorção com os três tipos de espessuras estudadas, sem proteção. Duração da imersão em água: 24 horas.

A partir do resultado encontrado no ensaio de absorção de água sem proteção, foi realizado outro ensaio comparando a absorção se algum tipo de proteção for aplicada na superfície do tubetes. Para este teste foi escolhido o tubete de 4,0 mm de espessura, por causa de seu elevado resultado no primeiro ensaio de absorção, mostrado na Figura 06.

Na Figura 07 relacionam-se as massas das amostras impermeabilizadas em 4 etapas de pesagem diferente. A primeira etapa, representada em azul, foi a pesagem feita antes da aplicação do verniz (CRU); a segunda, em laranja, pesagem feita nos corpos envernizados, antes do ensaio de absorção (Pintado pré-absorção). A terceira em cinza, representa a pesagem após o ensaio de absorção (Pós-absorção – 24hrs); a última, na cor amarela, demonstra os valores obtidos para a pesagem após os corpos de prova passarem 24 horas no forno (Pós-forno – 24hrs).

Como esperado, a coluna com maiores valores é a cinza, demonstrando a alta capacidade de absorção do papelão, ainda que envernizado.

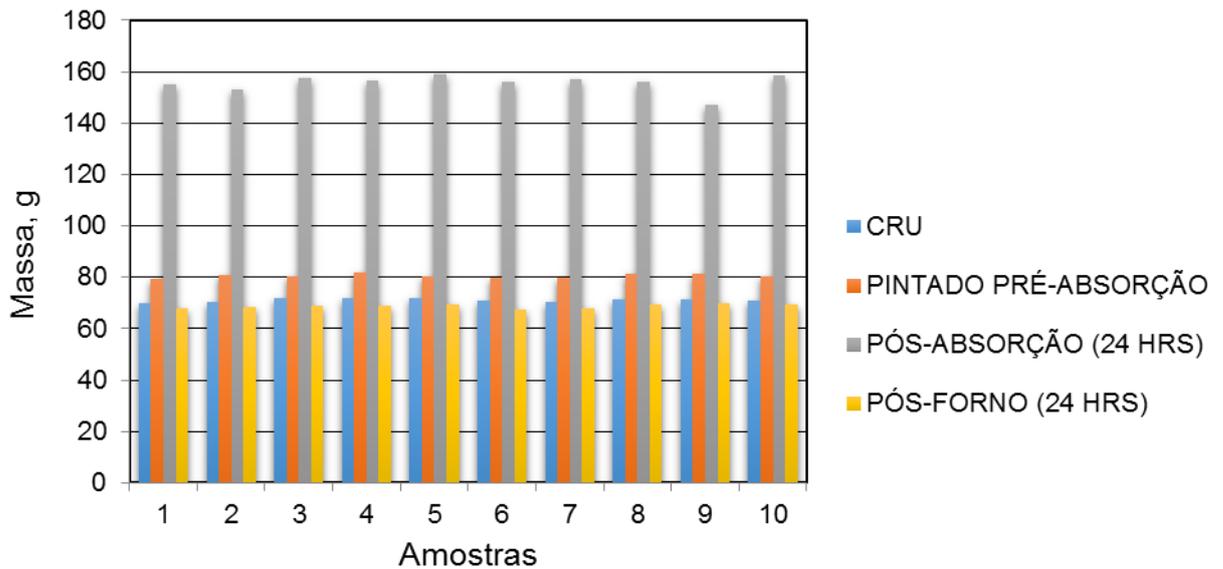


Figura 07 – Pesagem dos corpos de prova impermeabilizados.

Na Figura 08 são apresentados os valores obtidos em três etapas de pesagem dos corpos de prova sem proteção. Na coluna em azul, estão os valores obtidos antes da absorção; em laranja, após absorção; e, por último, a pesagem feita após o período de 24 horas no forno, em cinza. Apesar de a absorção ser alta mesmo nos corpos de prova com proteção, neste momento, fica claro que os ensaios realizados sem proteção demonstraram valores de absorção ainda maiores, indicando que, apesar de aparente ineficiência da proteção empregada, ainda foi fornecida significativa proteção ao tubete.

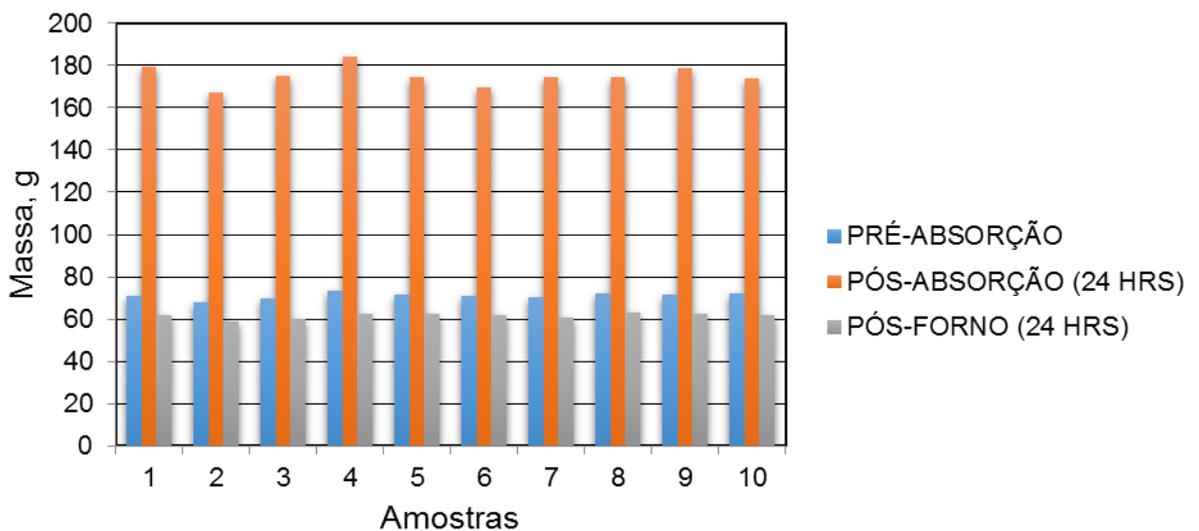


Figura 08 – Pesagem dos corpos de prova sem proteção, ou seja, sem verniz.

Na figura 09 é apresentada a comparação entre os valores de porcentagens de absorção de água das amostras com proteção (C/P) e sem proteção (S/P). Os valores

devem ser analisados em função do peso inicial de cada amostra, sendo levado em consideração que para as amostras envernizadas, o peso inicial referido acima é o obtido após a aplicação do verniz.

Ao analisar os resultados do gráfico da Figura 09, compreende-se que, mesmo não tão satisfatório quanto esperado, o verniz ainda reduz significativamente a absorção, deixando claro a necessidade de uma aplicação de um verniz mais eficaz, para aumentar a proteção do material.

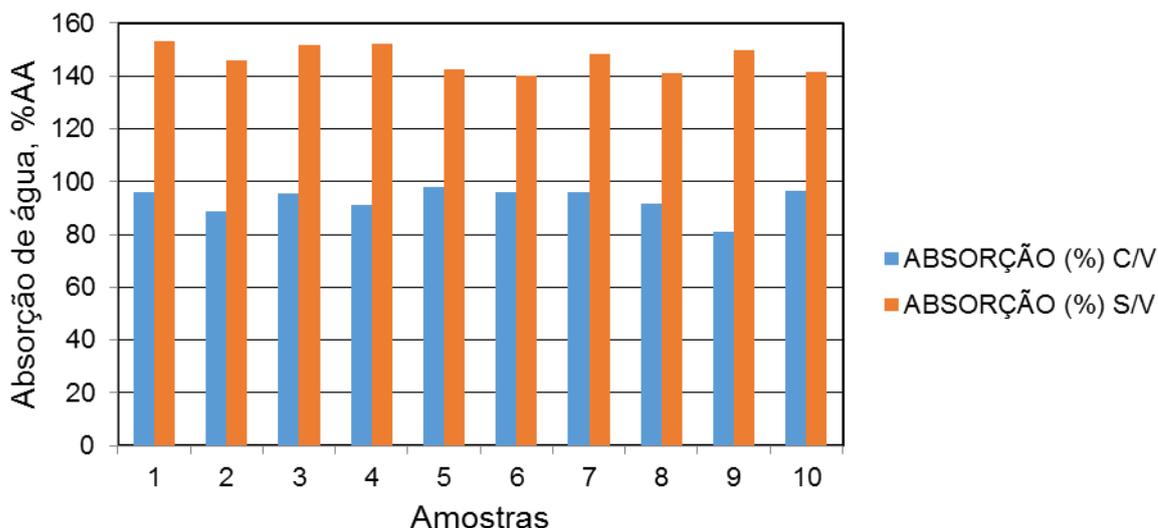


Figura 09 – Comparação entre porcentagens de absorção de água no tubete de 4,0 mm de espessura.

4.CONCLUSÃO

Após a análise completa dos resultados foi possível concluir que é viável utilizar tubetes de papelão em sistemas construtivos, pois tais elementos apresentam forma tubular, agregando resistência e estabilidade. Além disso, estes sistemas compõem uma construção muito leve e não necessitam de fundação complexa.

Os valores encontrados para tensão e deformação nos ensaios de compressão axial, são satisfatórios para aplicação em projetos não complexos de engenharia. O mesmo pode ser dito sobre os valores encontrados nos ensaios de compressão diametral.

Em relação ao ensaio de absorção, os resultados encontrados nos ensaios de corpos de prova sem proteção confirmam a necessidade da aplicação de agentes impermeabilizantes adequados para a proteção e aumento da vida útil do material. Já nos corpos de prova com proteção, verificou-se redução significativa na quantidade de absorção de umidade. Vale destacar que os ensaios de absorção representam um ponto crítico, no qual os tubetes ficariam totalmente submersos durante longo período. Também é

importante ressaltar a necessidade de se estudar outros meios de impermeabilização, visto que durante toda a pesquisa, utilizou-se apenas um produto.

Logicamente, cabe ao projetista uma análise aprofundada da aplicabilidade de tubetes de papelão em estruturas de engenharia, devido às suas limitações mecânicas. Outro ponto relevante, é o aprofundamento da pesquisa, buscando maior diversidade de informações sobre o material, através de maior número de ensaios para aumentar o conhecimento de outros tipos de esforços solicitados em uma estrutura de engenharia, e também outros impermeabilizantes para aumentar a proteção do material. Com a análise e utilização correta, tubetes de papelão podem ser empregados em projetos que não demandem grandes esforços do material. A utilização desse material representa avanço tecnológico e sustentável, permitindo à engenharia um avanço considerável no quesito inovação.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14257**: Papel e cartão - Tubetes - Determinação da umidade - Método por secagem em estufa. Rio de Janeiro, 1998. 2 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 11093-9**: papel e cartão: ensaio de tubetes: parte 9: determinação da resistência ao esmagamento. Rio de Janeiro, 2009. 3p.

BAN S. **Estrutura em tubo de papel**. Disponível em: <http://www.shigerubanarchitects.com>. Acessado em: 27/04/2014.

HIBBELER, R.C. **Resistência dos Materiais**. 7ª edição. São Paulo: Pearson, 2010. 57-76p.

MCQUAID, M. 2003. Shigeru Ban. ed. Nova York: Phaidon Press.

MIYAKE, R. Shigeru Ban: Paper in Architecture. Nova York: Rizzoli International Publications, 2009.

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.

THE JAPAN ARCHITECT. Shigeru Ban. Edição especial n30. Tóquio: A+U Publishing CO, summer 1998.

Sobre os Autores

Autor 1: Vinícius de Oliveira Barbosa, graduando do curso de Engenharia Mecânica da Faculdade Redentor. E-mail: mech.barbosa@gmail.com.

Autor 2: Priscila Dias Silva, graduanda do curso de Engenharia Mecânica da Faculdade Redentor. E-mail: diassilva_priscila@hotmail.com.

Autor 3: Anderson Padilha Pontes, graduando do curso de Engenharia Mecânica da Faculdade Redentor. E-mail: andersonppontes@ig.com.br.

Autor 4: Professor do Instituto Federal Fluminense. Mestre em Engenharia e Ciência dos Materiais pela Universidade Estadual do Norte Fluminense. E-mail: juvenil.junior@iff.edu.br.

Autor 5: Professor da Faculdade Redentor. Mestre em Engenharia Mecânica, pela Universidade Federal Fluminense. Doutorando em Engenharia Mecânica, pela Universidade Federal Fluminense. E-mail: prof.victorbsouza@gmail.com.