



**ESCOLA DE ENGENHARIA  
FACULDADE DE ARQUITETURA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESIGN**

**Mariana Piccoli**

**REUTILIZAÇÃO DE TUBOS DE PAPELÃO:  
ESTUDO DE PARÂMETROS TÉCNICOS VISANDO  
APLICAÇÃO NO DESIGN DE PRODUTOS**

**Porto Alegre**

**2013**





**ESCOLA DE ENGENHARIA  
FACULDADE DE ARQUITETURA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESIGN**

**Mariana Piccoli**

**REUTILIZAÇÃO DE TUBOS DE PAPELÃO: ESTUDO DE  
PARÂMETROS TÉCNICOS VISANDO APLICAÇÃO NO  
DESIGN DE PRODUTOS**

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Design da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito à obtenção do grau de Mestre em Design.

Orientador: Prof. Dr. Joyson Pacheco

Coorientador: Prof. Dr. Luis Henrique Alves Cândido

**Porto Alegre**

**2013**

### **CIP – Catalogação na Publicação**

Piccoli, Mariana

Reutilização de tubos de papelão: estudo de parâmetros técnicos visando aplicação no design de produtos / Mariana Piccoli. -- 2013.  
135 f.

Orientador: Joyson Pacheco.

Coorientador: Luis Henrique Alves Cândido.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Design, Porto Alegre, BR-RS, 2013.

1. reutilização. 2. tubos de papelão. 3. parâmetros técnicos. 4. design de produto. 5. ecodesign. I. Pacheco, Joyson, orient. II. Cândido, Luis Henrique Alves, coorient. III. Título.

**Elaborada pelo Sistema de Geração Automática de Ficha Catalográfica da UFRGS com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).**

Mariana Piccoli

**REUTILIZAÇÃO DE TUBOS DE PAPELÃO:  
ESTUDO DE PARÂMETROS TÉCNICOS VISANDO APLICAÇÃO NO  
DESIGN DE PRODUTOS**

Esta Dissertação foi julgada adequada para obtenção do Título de Mestre em Design, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Design da UFRGS.

Porto Alegre, 13 de dezembro de 2013.

---

Prof. Dr. Fábio Teixeira  
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Design da UFRGS

**Banca Examinadora:**

---

Prof. Dr. Joyson Luiz Pacheco  
Orientador  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

---

Prof. Dr. Luis Henrique Alves Cândido  
Coorientador  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Fabiane Vieira Romano  
Universidade Federal de Santa Maria

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Lauren da Cunha Duarte  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

---

Prof. Dr. Júlio Carlos de Souza Van der Linden  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul



# AGRADECIMENTOS

Sem a ajuda de diversas pessoas, este trabalho não teria sido possível. Agradeço à minha família, em especial aos meus pais, por sempre estimularem a busca pelo conhecimento (e depois do mestrado, vem o quê?), me dando toda a força e o apoio necessários para seguir em frente, e compreendendo as vezes que não pude ir para casa no final de semana.

Aos meus orientadores e professores Joyson Luiz Pacheco e Luis Henrique Alves Cândido, que abraçaram o tema da pesquisa e fizeram grandes contribuições, encorajando a construção de um trabalho amplo e desafiador.

Aos professores da banca avaliadora, já presentes na qualificação, pelas observações e sugestões: Lauren Duarte, pelas conversas descontraídas que sempre acalmam; Júlio Carlos de Souza Van der Linden, por expandir os pensamentos e construir debates críticos; e Fabiane Vieira Romano, por estar presente em mais uma etapa da minha trajetória, com seus conselhos sinceros e sua dedicação ímpar.

Aos demais professores com os quais convivi durante o período do mestrado, por todas as conversas e aprendizados constantes. À Secretaria do Programa de Pós Graduação em Design da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, pela solicitude em todos os momentos, e à Universidade, pela oportunidade concedida.

Ao Leonardo, meu namorado, amigo, colega de mestrado e parceiro na ideia constante de reutilização de resíduos, por estar presente em todos os momentos – nos bons e nos complicados –, dando carinho, força, acompanhando-me na coleta dos materiais, cortando todos os corpos de prova e não se incomodando com o fato de eu ter transformado nosso apartamento em um estoque de tubos de papelão.

Muito obrigada à Jussara Porto, diretora da Gráfica da UFRGS, pela oportunidade de estagiar no Núcleo de Desenvolvimento de Projetos em Papel, onde pude conhecer mais sobre este material incrível em outras aplicações; também pela compreensão das ausências nos momentos finais da dissertação, e pela amizade que surgiu durante o período.

Aos demais colegas da Gráfica – Joseane, Lylian, Maria da Glória, Paulo, Sílvia, Michele, Mel e pessoal do Acabamento, pelos bons momentos e paciência nos ensinamentos. Em especial à Júlia Schaan, pelas risadas e abraços apertados, e à Alice Meditsch, amiga para a vida que

encontrei durante este estágio, por todas as visitas e projetos quando perto, e pelas conversas animadas pelo Skype, agora temporariamente longe.

Aos colegas/amigos que tive o prazer de conhecer e conviver durante o período do mestrado, em especial aos ingressos em 2011. Ao Rodolfo Rolim Dalla Costa, muito obrigada pelo empréstimo semestral do paquímetro! À Mariana Cidade, que além de estar sempre disposta a ajudar e a ouvir, proporcionou-me a experiência de estágio docência na disciplina de Ecodesign. Às colegas desde a graduação, que continuaram no mestrado: Roseane Santos, Eliana Paula Calegari e Tatiana Lago, amiga, parceira de trabalhos e companheira de apartamento durante este tempo de mestradas.

À Vera Felippi e Anna Stolf (com adendo da Filó), amigas especiais que conheci durante este período. Muito obrigada por todas as conversas, desabaços, passeios e promessas deles! Isso fez tudo valer a pena.

Aos amigos de longa data (e alguns de longa distância), que entenderam a importância desta jornada e aceitaram minhas ausências, em especial ao Maurício Dick, que esteve presente durante todos os momentos, pela amizade a qualquer hora, sensatez e paciência ao ouvir.

À Viviane Pestano, do Laboratório de Design e Seleção de Materiais (LdSM/UFRGS) por toda ajuda (acompanhada de risadas) na realização das microscopias. Ao Eugênio, ao técnico Airton e ao professor Nei, do Núcleo Orientado para a Inovação da Edificação (NORIE/UFRGS), pelo auxílio, disposição e simpatia na realização dos ensaios de compressão e flambagem.

Ao seu Leonel e seu Osmário, da Oficina de Modelos, Protótipos e Maquetes (Faculdade de Arquitetura/UFRGS), pela execução dos cortes a laser. Ao Cristian, do Laboratório de Materiais Cerâmicos (LACER/UFRGS) pela realização da análise termogravimétrica.

Às empresas que aceitaram participar da pesquisa sobre o panorama do descarte dos tubos de papelão; e à Tubospel, que mostrou o passo a passo da fabricação deste produto, fornecendo também as amostras utilizadas para o exame de qualificação.

Para finalizar, agradeço a todas aquelas pessoas que estenderam a mão, torceram, apoiaram, mandaram boas energias e ofereceram ajuda durante estes dois anos e (quase) meio de estudos e trabalho, com carinho especial à Mônica Soletti e Silécia Puhl, que me disponibilizaram moradia temporária na vinda à Porto Alegre. Muito obrigada!



# RESUMO

A reutilização aumenta e valoriza o ciclo de vida dos produtos sem necessidade da desintegração do material, proporcionando um destino adequado e o aproveitamento da configuração formal, da energia e matéria-prima agregadas e das propriedades inerentes ao produto que é descartado. Este trabalho teve como objetivo identificar e propor parâmetros técnicos de resistência, absorção, recobrimentos e corte a laser, visando possibilitar a reutilização de tubos de papelão, provenientes de descarte, no desenvolvimento de produtos. Por meio do panorama sobre o descarte deste material no recorte geográfico da cidade de Porto Alegre, realizado através de visitas a empresas dos segmentos de confecção e gráfico, selecionou-se como padrão de tubo a ser pesquisado o de diâmetro interno 76,2mm (encontrado geralmente nas espessuras 3mm, 4mm, 5mm e 6,5mm), cujo destino recorrente é o recolhimento por catadores de materiais recicláveis. Para a realização dos ensaios técnicos, efetuou-se a coleta dos tubos até ser atingida a quantidade necessária, aferiram-se suas medidas e confeccionaram-se os corpos de prova. Em seguida, após a caracterização do material através de microscopia eletrônica de varredura (MEV) e análise termogravimétrica (ATG), foram realizados ensaios técnicos de resistência à compressão axial e diametral; flambagem; absorção de água; testes de recobrimento, corte a laser e experimentações sobre métodos de união. Como resultados, a temperatura de combustão, identificada na ATG, indica que até os 210°C existe uma faixa de segurança na utilização dos tubos. Pelos resultados dos ensaios de compressão axial e diametral, concluiu-se que a direção mais adequada e com maior relevância de utilização dos tubos de papelão é a vertical, com o sentido da carga aplicado paralelamente à seção transversal. O ensaio de flambagem permitiu verificar que as falhas apresentadas não são repentinas; a amostra permaneceu estável, já que não houve ruptura súbita. No teste de absorção de água, constatou-se que os tubos são higroscópicos, necessitando de impermeabilização; para reconhecer um material de recobrimento adequado para os tubos de papelão, fez-se o ensaio de absorção de água com os tubos revestidos por tintas e vernizes à base de água. O melhor resultado foi apresentado pelo verniz marítimo em três demãos, revestimento que foi analisado por MEV. Após ensaios técnicos, foram realizados experimentos de corte a laser e métodos de união dos tubos. Concluiu-se a viabilidade da aplicação da tecnologia de corte a laser no material, determinando-se a potência e velocidades adequadas para o corte mais eficiente em cada espessura; e os métodos de união estudados possibilitam elaborar uma variedade de combinações aplicáveis na configuração de produtos. Por fim, acredita-se que o estudo e reconhecimento de características peculiares de novos materiais é um ponto determinante para a inserção destes no Design.

**Palavras-chaves:** reutilização, tubos de papelão, parâmetros técnicos, design, ecodesign.



# ABSTRACT

The reuse increases and enhances the life cycle of the product without the disintegration of the material, providing a correct destination and use of formal configuration, energy and raw material and aggregate properties inherent to the product or material that is discarded. This study aims to identify the technical parameters of resistance, absorption, coatings and laser cutting to reuse cardboard tubes, from disposal in product development. Through the overview of the disposal of this material in the city of Porto Alegre, conducted through visits to businesses in the segments of clothing and printing industry, was selected as standard tube to be researched the inner diameter of 76,2mm (found usually in thicknesses 3mm, 4mm, 5mm and 6,5mm), whose destination is the collection by waste pickers. For conducting technical trials, performed the collection tubes until reach the required amount, have assessed up your measurements and sewed up the specimens. Then, after the characterization of the material by scanning thermal gravimetric analysis (TGA ) and electron microscopy (MEV), technical tests of resistance to axial and diametrical compression, buckling, water absorption, coating testing, laser cutting and experiments on joining methods were performed. As a result, the combustion temperature the ATG identified, indicates that even at 210°C there is a range of safety of the tubes. The results of the tests diametral and axial compression, it was concluded that the most appropriate and most important use of paper tubes is the vertical direction, with the direction of the load applied parallel to the cross-section. The buckling test has shown that the problems presented are not sudden, the sample remained stable, since there was no sudden break. In the water absorption test, it was found that the pipes are hygroscopic, requiring waterproofing; to recognize a material suitable for coating cardboard tubes, the water absorption test is remade and tubes were coated with paints and varnishes water-based. The best result was presented by three coats of marine varnish, coating was analyzed by MEV. After technical tests, experiments of laser cutting and joining methods were performed. The conclusion of the feasibility of applying laser cutting technology in the material, determining the appropriate speed and power for efficient cutting each thickness, and the possible joining methods studied prepare a variety of combinations applyable on a product's configuration. Finally, it's believed that the recognition and study of specific characteristics of new materials is a key factor on its insertion in product design.

**Key-words:** reuse, cardboard tubes, technical parameters, product design, ecodesign.



# LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema representativo da inserção dos 3Rs no ciclo dos produtos. Fonte: adaptado de Cândido (2008).....	15
Figura 2 - Típico ciclo de vida do produto ou material, com o foco em alternativas de fim de vida como uma maneira de ajudar a manter o fluxo cíclico dos materiais contidos nos produtos. Fonte: adaptado de Pigosso <i>et al.</i> , 2010, p. 22.....	16
Figura 3 - Hierarquia dos resíduos. Fonte: adaptado de Gomes (2011, p. 17).....	20
Figura 4 - Roda de Eco Concepção. Fonte: Kazazian (2005, p. 37).....	25
Figura 5 - Composição de alguns tipos de tintas. Fonte: Fazenda (2005, p. 748).....	29
Figura 6 - Embalagem para vinho que se transforma em luminária. (A) Embalagem sendo aberta; (B) Elementos que compõem a luminária; (C) Luminária montada. Fonte: Ciclus (2012)....	32
Figura 7 - Garrafas Wobo, da Heineken, que após o consumo são usadas como tijolos. (A) Garrafa individual; (B) Simulação de montagem; (C) Detalhe da construção. (D) Parede construída com as garrafas. Fonte: Inhabitat (2011).....	33
Figura 8 - (A) Tin Can Radio, de Papanek. Fonte: Quintal (2011, p. 34); (B) Brinquedos desenvolvidos por Gui Bonsiepe. Fonte: Bonsiepe (2012, p. 172).....	34
Figura 9 - (A) "Pisa-livros", artefato para manter os livros abertos, feito com retalhos de couro. (B) Cabos de talheres, feitos com as aparas do produto anterior. Fonte: Papanek (1995, p. 65).....	34
Figura 10 - Parâmetros de dimensões e denominação das partes do tubo de papelão.....	36
Figura 11 - Bobinas de papel kraft. (A) Bobinas de papel miolo; (B) Bobinas dispostas na máquina.....	38
Figura 12 - Faixas de papel kraft sendo enroladas no cilindro metálico, constituindo o tubo de papelão.....	39
Figura 13 - Tubos prontos, em fardos.....	39
Figura 14 - Cadeira Hecmec. (A) e (B) Criança utilizando o produto; (C) Detalhe da peça de união. Fonte: Hecmec (2012).....	40
Figura 15 - Mobiliário da Pomada. (A) Reposera; (B) Banco; (C) Peque; (D) Chupito. Fonte: Pomada Web (2012).....	41

Figura 16 - Móveis da Form in Void. (A) Banco Waynee; (B) Banco Secco; (C) Modo de empilhar do banco Secco. Fonte: Form in Void (2013).....	41
Figura 17 - Mobiliário do SuperLimão. (A) Banquinho Biju; (B) Cadeira Circular; (C) Mesa Ampulheta. Fonte: SuperLimão (2012).....	42
Figura 18 - Produtos de papelão desenvolvidos por Nido Campolongo. (A) Casa do Leitor, 2002; (B) Estante Anéis; (C) Pufe Balanço. Fonte: Nido Campolongo (2012).....	42
Figura 19 - Módulo multifuncional Mobina. Fonte: Piccoli (2010).....	43
Figura 20 - <i>Tube Toys</i> de Oscar Diaz. (A) Embalagem do produto, modelo trator; (B) Peças do modelo; (C) Trator montado. Fonte: Oscar Diaz (2012).....	43
Figura 21 - <i>Toobalink</i> , de Sara Ebert e Will Sakran. (A) Conjunto de peças de conexão e tubos; (B) Estruturas iniciais montadas; (C) Exemplo de estrutura possível de ser construída. Fonte: Toobalink (2012).....	44
Figura 22 - Paper Arbor, 1989. Fonte: Shigeru Ban Architets (2013).....	45
Figura 23 - Construções emergenciais criados por Shigeru Ban. (A) Abrigo em Kobe; (B) Sala de aula em Chendu. Fonte: Shigeru Ban Architets, 2013.....	45
Figura 24 - Igreja de Papelão, localizada na Nova Zelândia. (A) Vista externa; (B) Vista interna. Fonte: Shigeru Ban Architets, 2013.....	46
Figura 25 - (A) Coleção de móveis “Carta”; (B) Banco. Fonte: Shigeru Ban Architets, 2013.....	46
Figura 26 - Construções com tubos de papelão. (A) Sistema construtivo modular da arquiteta Mirian Vaccari. Fonte: Vaccari (2003, p. 13); (B) Portais com tubos de papelão arqueados. Fonte: Preston e Bank (2011, p. 665); (C) Célula teste de Gerusa Salado. Fonte: Salado (2011, p. 115); (D) Estrutura geodésica construída durante oficina. Fonte Laverde e Salado (2012, p. 8).....	47
Figura 27 - Usos dos rolos de papelão no artesanato. (A) Porta-lápis; (B) Castelos; (C) Binóculos de brinquedo; (D) Circuito de bolinhas; (E), (H) e (K) Personagens feitos com colagem e pintura; (F) Sementeira; (G) Lanternas; (I) Carrinhos; (J) Chapéus de festa no formato de coroa. Fonte: Google Imagens (2012).....	47
Figura 28 - (A) Corte dos corpos de prova na serra circular; (B) Retirada das rebarbas com lixa.	51
Figura 29 - Mapa conceitual do experimento.....	52
Figura 30 - Medição das dimensões de um corpo de prova. (A) Medição do diâmetro externo; (B) Medição do diâmetro interno.....	54
Figura 31 - Máquina de ensaios universal localizada no NORIE/UFRGS.....	56

Figura 32 - (A) Corpos de prova dispostos na estufa para secagem; (B) Corpo de prova sendo pesado na balança digital de precisão.....	57
Figura 33 - Verniz sendo aplicado no tubo de papelão com o auxílio de um pincel de cerdas macias.....	59
Figura 34 - Procedimento para a determinação da aderência do revestimento. (A) Realização dos cortes com estilete; (B) Grade de cortes finalizada; (C) Aplicação da fita adesiva, sendo pressionada com uma borracha.....	60
Figura 35 - (A) Equipamento de corte e gravação a laser, modelo Acrila, da Automatisa®; (B) Berço improvisado para acomodar o corpo de prova.....	61
Figura 36 - Cortes utilizados em uniões de peças de bambu. (A) com orelha; (B) com duas orelhas; (C) bisel; (D) bico de flauta; (E) boca de peixe. Fonte: López (1981, p. 13).....	63
Figura 37 - Uniões realizadas no bambu. (A) União perpendicular boca de peixe; (B) União paralela de topo; (C) União paralela em bisel. Fonte: López (1981, p. 14-18).....	63
Figura 38 - Destino usual dos tubos de papelão descartados.....	69
Figura 39 - Gráfico representativo do número de empresas e diâmetro interno dos tubos descartados.....	70
Figura 40 - Representação gráfica do local de onde foi retirada a amostra e indicação de cada superfície que foi analisada por microscopia eletrônica de varredura.....	70
Figura 41 - Microscopia eletrônica de varredura da superfície de um tubo de papelão de 5mm de espessura. (A) Superfície externa; (B) Superfície interna; (C) Miolo; (D) Borda.....	71
Figura 42 - Curva termogravimétrica do tubo de papelão em atmosfera de oxigênio.....	73
Figura 43 - Corpo de prova sendo submetido ao ensaio de compressão axial.....	74
Figura 44 - Resultados do ensaio de compressão axial – CPs 3mm espessura.....	74
Figura 45 - Comparação entre os corpos de prova 3mm de espessura. (A) Antes do ensaio; (B) Após o ensaio de compressão axial.....	75
Figura 46 - Resultados do ensaio de compressão axial – CPs 4mm espessura.....	76
Figura 47 - Comparação entre os corpos de prova 4mm de espessura. (A) Antes do ensaio; (B) Após o ensaio de compressão axial.....	76
Figura 48 - Resultados do ensaio de compressão axial – CPs 5mm espessura.....	77
Figura 49 - Comparação entre os corpos de prova de 5mm espessura. (A) Antes do ensaio; (B) Após o ensaio de compressão axial.....	78
Figura 50 - Resultados do ensaio de compressão axial – CPs 6,5mm espessura.....	78

Figura 51 - Comparação entre os corpos de prova de 6,5mm espessura. (A) Antes do ensaio; (B) Após o ensaio de compressão axial.....	79
Figura 52 - Deformações nos corpos de prova após os ensaios de compressão axial. (A) Ondulações e dobras na superfície interna, na emenda de papel kraft; (B) Amassamento na superfície externa; (C) Dobra saliente na face externa, no sentido de enrolamento das faixas; (D) Esmagamento da borda superior, com aumento da espessura da borda, e ondulações nas superfícies interna e externa.....	80
Figura 53 - Corpo de prova sendo submetido ao ensaio de compressão diametral.....	81
Figura 54 - Resultados do ensaio de compressão diametral – CPs 3mm espessura.....	81
Figura 55 - Resultados do ensaio de compressão diametral – CPs 4mm espessura.....	82
Figura 56 - Resultados do ensaio de compressão diametral – CPs 5mm espessura.....	83
Figura 57 - Resultados do ensaio de compressão diametral – CPs 6,5mm espessura.....	84
Figura 58 - À esquerda, corpo de prova após o ensaio de compressão diametral; à direita, corpo de prova não submetido ao ensaio.....	85
Figura 59 - Corpo de prova sendo submetido ao ensaio de flambagem.....	86
Figura 60 - Resultados do ensaio de flambagem – CPs 3mm espessura.....	86
Figura 61 - Comparação entre os corpos de prova de 3mm espessura. (A) Antes do ensaio; (B) Após o ensaio de flambagem.....	87
Figura 62 - Resultados do ensaio de flambagem – CPs 4mm espessura.....	88
Figura 63 - Comparação entre os corpos de prova de 4mm espessura. (A) Antes do ensaio; (B) Após o ensaio de flambagem.....	89
Figura 64 - Resultados do ensaio de flambagem – CPs 5mm espessura.....	89
Figura 65 - Comparação entre os corpos de prova de 5mm espessura. (A) Antes do ensaio; (B) Após o ensaio de flambagem.....	90
Figura 66 - Resultados do ensaio de flambagem – CPs 6,5mm espessura.....	91
Figura 67 - Comparação entre os corpos de prova de 6,5mm espessura. (A) Antes do ensaio; (B) Após o ensaio de flambagem.....	92
Figura 68 - Detalhes das deformações nos corpos de prova após os ensaios de flambagem. (A) Ondulações no sentido de enrolamento das faixas de papel, com rasgamento do papel na região central do corpo de prova; (B) Amassamento das superfícies interna e externa e aumento da espessura da borda superior; (C) Amassamentos na superfície externa; (D) Amassamento e rasgamento do papel na região próxima à borda inferior.....	92



Figura 69 - (A) Corpos de prova de 3mm antes do ensaio; (B) Após o ensaio, com manchas e escurecidos.....	94
Figura 70 - Aspectos dos corpos de prova após o ensaio.....	94
Figura 71 - (A) Corpos de prova revestidos com verniz marítimo; (B) Verniz acrílico; (C) Tinta esmalte; (D) Tinta acrílica; (E) Termolina e (F) Resina multiuso. Todos os materiais de recobrimento são à base de água.....	96
Figura 72 - Corpos de prova sem revestimento.....	96
Figura 73 - Resultados dos ensaios de absorção dos diferentes recobrimentos testados.....	101
Figura 74 - Aspecto visual dos corpos de prova após o ensaio de absorção. (A) Sem revestimento; (B) Revestimento verniz acrílico, 3 demãos; (C) Revestimento termolina, 3 demãos; (D) Revestimento verniz marítimo, 3 demãos; (E) Revestimento tinta acrílica, 3 demãos; (F) Revestimento tinta esmalte, 3 demãos; (G) Revestimento resina multiuso, 3 demãos; (H) Detalhe da infiltração e rachaduras com o revestimento resina multiuso 3 demãos.....	102
Figura 75 - Microscopia eletrônica de varredura do tubo de papelão revestido com três demãos de verniz marítimo. (A) Superfície interna; (B) Superfície externa; (C) Superfície da borda; (D) Imagem comparativa do MEV da borda de uma amostra sem recobrimento; (E) Borda sem revestimento, onde se pode visualizar a camada criada pelo verniz marítimo; (F) Ampliação da área quadriculada na imagem anterior, destacando a referida camada.....	103
Figura 76 - Resultados do ensaio de determinação da aderência do revestimento. (A) Verniz marítimo 2 demãos; (B) Verniz marítimo 3 demãos; (C) Verniz acrílico 2 demãos; (D) Verniz acrílico 3 demãos; (E) Tinta esmalte 2 demãos; (F) Tinta esmalte 3 demãos; (G) Tinta acrílica 2 demãos; (H) Tinta acrílica 3 demãos; (I) Termolina 2 demãos; (J) Termolina 3 demãos; (K) e (L) Comparação entre a mesma área antes (K) e após (L) a aplicação da fita adesiva.....	105
Figura 77 - (A) Corpo de prova posicionado para o corte, com o reforço interno para que o laser não queime a superfície interna; (B) Ensaio de corte a laser em andamento.....	106
Figura 78 - Ensaio de corte a laser realizados nos tubos de papelão.....	106
Figura 79 - Corpo de prova de 6,5mm de espessura após os cortes a laser.(A) Vista externa; (B) Vista interna.....	107
Figura 80 - (A) Fotografia do tubo de papelão de 4mm, cortado na potência 90W; (B) Imagens de microestereoscopia da variação de velocidade do corte, de 5 até 55mm/s.....	108

Figura 81 - Cortes realizados nos tubos de papelão para confecção das uniões. (A) Reto; (B) Bisel; (C) Boca de peixe; (D) Furação sendo realizada com micro retífica equipada com broca 3mm.....	109
Figura 82 - União paralela em dupla. (A) União finalizada com abraçadeira; (B) Detalhe da abraçadeira; (C) União finalizada com cola.....	110
Figura 83 - União de quina com abraçadeira. (A) Detalhe da abraçadeira aberta; (B) União finalizada; (C) Detalhe da abraçadeira fechada.....	110
Figura 84 - União de quina colada. (A) Peças a serem unidas, com cola na borda; (B) Colagem das peças, mantendo as superfícies pressionadas; (C) União finalizada.....	110
Figura 85 - União encaixada em colméia. (A) Peças cortadas; (B) Encaixe sendo realizado; (C) União finalizada; (D) Detalhe da vista superior da união.....	111
Figura 86 - União perpendicular boca de peixe. (A) Colagem sendo realizada; (B) União finalizada; (C) Detalhe.....	111
Figura 87 - União perpendicular boca de peixe com abraçadeira. (A) União finalizada; (B) Vista posterior da abraçadeira; (C) Detalhe da união.....	111
Figura 88 - União paralela em trio com abraçadeira. (A) União finalizada; (B) Detalhe da vista superior da união; (C) Simulação de desmontagem da união, cortando a abraçadeira com uma tesoura comum.....	112
Figura 89 - Uniões de topo. (A) Abraçadeira aberta; (B) União de topo com abraçadeira finalizada; (C) Detalhe da abraçadeira; (D) União de topo colada sendo realizada; (E) União de topo colada finalizada.....	112
Figura 90 - Uniões em bisel. (A) União com abraçadeira; (B) Detalhe da abraçadeira; (C) União em bisel colada.....	112

# LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Diretrizes de ecodesign.....	26
Quadro 2 - Descrição dos corpos de prova utilizados em cada ensaio.....	50
Quadro 3 - Métodos de união confeccionados nos tubos de papelão.....	64
Quadro 4 - Indústrias do segmento de confecção visitadas.....	67
Quadro 5 - Indústrias do segmento gráfico/comunicação visual visitadas.....	68



# LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Distribuição da quantidade de RSI não perigosos gerados por setor industrial (em t/ano).....	14
Tabela 2 - Resultados do ensaio de compressão axial – CPs 3mm espessura.....	75
Tabela 3 - Resultados do ensaio de compressão axial – CPs 4mm espessura.....	76
Tabela 4 - Resultados do ensaio de compressão axial – CPs 5mm espessura.....	77
Tabela 5 - Resultados do ensaio de compressão axial – CPs 6,5mm espessura.....	79
Tabela 6 - Resultados do ensaio de compressão diametral – CPs 3mm espessura.....	82
Tabela 7 - Resultados do ensaio de compressão diametral – CPs 4mm espessura.....	83
Tabela 8 - Resultados do ensaio de compressão diametral – CPs 5mm espessura.....	84
Tabela 9 - Resultados do ensaio de compressão diametral – CPs 6,5mm espessura.....	85
Tabela 10 - Resultados do ensaio de flambagem – CPs 3mm espessura.....	87
Tabela 11 - Resultados do ensaio de flambagem – CPs 4mm espessura.....	88
Tabela 12 - Resultados do ensaio de flambagem – CPs 5mm espessura.....	90
Tabela 13 - Resultados do ensaio de flambagem – CPs 6,5mm espessura.....	91
Tabela 14 - Porcentagem dos valores médios da absorção de água em função do tempo.....	93
Tabela 15 - Porcentagem dos valores médios da absorção em função do tempo em corpos de prova sem recobrimento.....	97
Tabela 16 - Porcentagem dos valores médios da absorção com o recobrimento verniz acrílico, em duas e três demãos.....	98
Tabela 17 - Porcentagem dos valores médios da absorção com o recobrimento termolina, em duas e três demãos.....	98
Tabela 18 - Porcentagem dos valores médios da absorção com o recobrimento verniz marítimo, em duas e três demãos.....	99
Tabela 19 - Porcentagem dos valores médios da absorção com o recobrimento tinta acrílica, em duas e três demãos.....	99
Tabela 20 - Porcentagem dos valores médios da absorção com o recobrimento tinta esmalte, em duas e três demãos.....	100

Tabela 21 - Porcentagem dos valores médios da absorção com o recobrimento resina multiuso, em duas e três demãos.....	100
Tabela 22 - Velocidades eficazes de corte a laser para os tubos de papelão, de acordo com cada potência e espessura.....	107
Tabela 23 - Avaliação dos métodos de união realizados.....	113

# LISTA DE APÊNDICES

Apêndice A – Formulário para entrevista sobre a produção de resíduos.....	126
Apêndice B - Absorção de água em função do tempo.....	129
Apêndice C - Recobrimentos – Absorção de água em função do tempo.....	131





# LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
ATG	Análise Termogravimétrica
BRACELPA	Associação Brasileira de Celulose e Papel
COV	Compostos Orgânicos Voláteis
CP	Corpo de prova
FEPAM	Fundação Estadual de Proteção Ambiental
FT-IR	Espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier
LACER	Laboratório de Materiais Cerâmicos
LASER	Amplificação da luz por emissão estimulada de radiação <i>Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation</i>
LdSM	Laboratório de Design e Seleção de Materiais
MDF	Painel de fibras de madeira de média densidade <i>Medium Density Fiberboard</i>
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura
NBR	Norma Brasileira
NORIE	Núcleo Orientado à Inovação na Edificação
OSB	Painel de tiras de madeira orientadas <i>Oriented Strand Board</i>
PVA	Acetato de Polivinila
RSI	Resíduos Sólidos Industriais
Sisnama	Sistema Nacional do Meio Ambiente
SNVS	Sistema Nacional de Vigilância Sanitária
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul



# SUMÁRIO

<b>1. Introdução</b> .....	11
1.1. Abrangência e delimitação.....	17
1.2. Problema de pesquisa.....	18
1.3. Hipótese.....	18
1.4. Objetivos.....	18
1.5. Justificativa.....	18
1.6. Estrutura do trabalho.....	21
<b>2. Fundamentação teórica e prática</b> .....	23
2.1. Ecodesign.....	23
2.1.1. Diretrizes do ecodesign.....	25
2.1.1.1. Diretrizes do ecodesign: ensaios de recobrimento.....	27
2.1.1.2. Diretrizes do ecodesign: métodos de união.....	30
2.2. Reutilização.....	30
2.2.1. Reutilização no design de produtos.....	32
2.3. Conhecendo o material: tubo de papelão.....	35
2.3.1. Produção do papel.....	37
2.3.2. Processo de fabricação dos tubos de papelão.....	38
2.3.3. Estado da arte: uso dos tubos de papelão no design de produtos.....	40
2.3.4. Uso dos tubos de papelão como elementos construtivos.....	44
<b>3. Materiais e métodos</b> .....	49
3.1. Materiais.....	49
3.2. Métodos.....	51
3.2.1. Panorama do descarte.....	52
3.2.2. Medição das dimensões.....	53
3.2.3. Microscopia eletrônica de varredura (MEV).....	54
3.2.4. Análise termogravimétrica (ATG).....	54
3.2.5. Resistência à compressão axial.....	55
3.2.6. Resistência à compressão diametral.....	56

3.2.7.	Flambagem.....	56
3.2.8.	Absorção .....	57
3.2.9.	Recobrimentos.....	57
3.2.9.1.	Ensaio de absorção.....	57
3.2.9.2.	Determinação da aderência dos recobrimentos.....	60
3.2.10.	Corte a laser .....	61
3.2.11.	Métodos de união.....	62
<b>4.</b>	<b>Resultados e discussões.....</b>	<b>67</b>
4.1.	Panorama do descarte.....	67
4.2.	Microscopia eletrônica de varredura (MEV).....	70
4.3.	Análise termogravimétrica (ATG).....	72
4.4.	Resistência à compressão axial .....	73
4.5.	Resistência à compressão diametral.....	80
4.6.	Flambagem .....	86
4.7.	Absorção.....	93
4.8.	Recobrimentos.....	95
4.8.1.	Ensaio de absorção.....	95
4.8.2.	Microscopia eletrônica de varredura do melhor recobrimento.....	102
4.8.3.	Determinação da aderência dos recobrimentos .....	104
4.9.	Corte a laser .....	106
4.10.	Métodos de uniões.....	109
<b>5.</b>	<b>Considerações finais.....</b>	<b>115</b>
5.1.	Sugestões para trabalhos futuros.....	118
	Referências Bibliográficas .....	121

## Capítulo 1

# INTRODUÇÃO

*Manteiga no pão é comida,  
manteiga no chão é sujeira.*

Autoria desconhecida

O design está presente em tudo que nos cerca – ele nos segue da manhã à noite, em casa, no trabalho, no lazer, no transporte, na saúde. A vida da maioria das pessoas é inimaginável sem a presença do design, pois como assevera Bürdek (2006), é por meio dos produtos que nos comunicamos com outras pessoas, nos definimos em grupos sociais e marcamos nossa situação social. Porém, conforme afirma Papanek (1995), o poder do design pode influenciar a vida das pessoas e o meio ambiente para o bem ou para o mal.

Larica (2003, p. 184) discorre sobre o tema, apresentando o design como o agente de todas as coisas. Segundo esse autor, “o design influi no comportamento humano, no bem estar das sociedades, na infraestrutura das cidades, no trânsito de pessoas e informações, no consumo de energia, na escolha dos materiais e na vida em geral”.

Design é definido por Redig (1977, p. 32) como “o equacionamento simultâneo de fatores ergonômicos, perceptivos, antropológicos, tecnológicos, econômicos e ecológicos no projeto dos elementos e estruturas físicas necessárias à vida, ao bem estar e/ou à cultura do homem”. Nesse mesmo sentido, Manzini e Vezzoli (2002) afirmam que o papel do design industrial é ligar o tecnologicamente possível com o ecologicamente necessário, fazendo nascer novas propostas que sejam social e culturalmente aceitáveis.

Se o design é o agente de tudo que nos cerca e a atividade projetual relacionada à criação dos elementos e estruturas físicas voltadas ao ser humano, seria ele também o responsável pelo problema enfrentado com o manejo e descarte de todos os produtos? Afinal, tudo que é produzido – desde uma caneta, uma embalagem ou até um automóvel – será descartado em algum momento. Pode ser esta uma das más influências do design?

Cardoso (2012, p. 155) afirma que “os objetos não morrem; sobrevivem, nem que seja como lixo ou resíduos.” Para o mesmo autor, aquilo que o campo do design costuma descrever como produto “corresponde a uma fração apenas da vida dos artefatos: o período de vida útil que vai da fabricação até o descarte. Trata-se de uma visão bastante

restrita, pois o mesmo artefato pode sobreviver materialmente por muito tempo após ser inutilizado” (2012, p. 162).

Mas afinal, o que é o lixo? Por convenção, chamamos de lixo tudo o que é descartado, o que está jogado na rua, em lixeiras e que, aparentemente, não tem valor nem utilidade. Pode-se dizer que o é a materialização dos rejeitos da sociedade: algo que seu gerador não mais deseja e que deve ser descartado de alguma forma, controlada ou não; deve ser retirado de seu convívio, pois é algo que estorva.

A questão muda bastante se observada por outro ângulo: lixo depende do contexto. Uma garrafa de plástico sobre um balcão continua sendo uma garrafa de plástico. Porém, no momento em que ela é deslocada para a lixeira, transforma-se em rejeito. Sendo lixo uma ideia que se faz do objeto, torna-se possível transformar uma parte das coisas que são tratadas como lixo requalificando o seu sentido (CARDOSO, 2012).

Há um exercício que faço sempre que dou palestras em escolas. Pego uma lata vazia de refrigerante e coloco sobre a mesa. “Alguém poderia me dizer o que é isto?”, pergunto. “É uma lata!”, as crianças gritam. Depois, pego uma cesta de lixo, ponho outra lata vazia dentro e pergunto de novo: “E isto aqui?” “É lixo”, elas respondem. Então, tiro a lata da cesta e coloco junto da outra, na mesa. “E agora?” “É uma lata”. Não existe diferença entre as duas: elas são iguais! Portanto, a segunda lata é considerada lixo não pelo que é em si, mas por conta do local em que foi colocada (LEONARD, 2011, p. 192).

Lixo nada mais é do que matéria desprovida de sentido, é um conceito derivado de uma noção de valor, da perspectiva cultural através do qual é visto: o que é lixo para muitos, é um recurso material disponível para tantos outros. Para Cardoso (2012) basta observar os catadores e o extenso comércio dedicado à compra e venda de materiais usados para comprovar essa afirmação.

Waldman também comenta sobre a relatividade imanente na suposta inservilidade do lixo, afirmando que aquilo que não apresenta nenhuma serventia para quem o descarta, para outro pode se tornar matéria-prima para a retomada do processo produtivo (2010, p. 30). Dessa forma, há de se rever a utilização da palavra “lixo” na designação de materiais que ainda podem ser aproveitados. Freire Dias (2004, p. 40) afirma que “lixo” expressa aquilo que não presta, não serve pra nada, e isso não é verdade. A cultura do “lixo” deve desaparecer para dar lugar à cultura dos resíduos sólidos (matéria-prima a ser reaproveitada). Os resíduos de um determinado sistema podem ser considerados recursos para outros.

Para Gomes (2011, p. 15), o resíduo pode ser definido, na sua forma mais simples, como o excedente ou o refugo resultante de um determinado sistema de produção e/ou utilização. Então, serão considerados resíduos os produtos secundários, sem utilização, de

processos ou os produtos cuja produção excedeu a procura ou cuja vida útil tenha acabado.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas, na NBR 10004:2004 – Resíduos Sólidos – Classificação (p. 1), define “resíduo sólido” como “resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição”. Conforme a Lei 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, é expressa no Artigo 13 a seguinte classificação de resíduos sólidos:

I - Quanto à origem:

- a) resíduos domiciliares: os originários de atividades domésticas em residências urbanas;
- b) resíduos de limpeza urbana: os originários da varrição, limpeza de logradouros e vias públicas e outros serviços de limpeza urbana;
- c) resíduos sólidos urbanos: os englobados nas alíneas “a” e “b”;
- d) resíduos de estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços: os gerados nessas atividades, excetuados os referidos nas alíneas “b”, “e”, “g”, “h” e “j”;
- e) resíduos dos serviços públicos de saneamento básico: os gerados nessas atividades, excetuados os referidos na alínea “c”;
- f) resíduos industriais: os gerados nos processos produtivos e instalações industriais;
- g) resíduos de serviços de saúde: os gerados nos serviços de saúde, conforme definido em regulamento ou em normas estabelecidas pelos órgãos do Sisnama e do SNVS;
- h) resíduos da construção civil: os gerados nas construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, incluídos os resultantes da preparação e escavação de terrenos para obras civis;
- i) resíduos agrossilvopastoris: os gerados nas atividades agropecuárias e silviculturais, incluídos os relacionados a insumos utilizados nessas atividades;
- j) resíduos de serviços de transportes: os originários de portos, aeroportos, terminais alfandegários, rodoviários e ferroviários e passagens de fronteira;
- k) resíduos de mineração: os gerados na atividade de pesquisa, extração ou beneficiamento de minérios;

II - Quanto à periculosidade:

- a) resíduos perigosos: aqueles que, em razão de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade, carcinogenicidade, teratogenicidade e mutagenicidade, apresentam significativo risco à saúde pública ou à qualidade ambiental, de acordo com lei, regulamento ou norma técnica;
- b) resíduos não perigosos: aqueles não enquadrados na alínea “a” (BRASIL, 2010).

Através do Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil, pesquisa realizada anualmente pela ABRELPE (Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais) constata-se que a geração de resíduos sólidos é crescente. Na edição de 2012, foram pesquisados 401 municípios do país, assinalando os seguintes dados: a geração de resíduos sólidos urbanos (originários de atividades domésticas em residências urbanas e os resíduos de limpeza urbana) no Brasil registrou crescimento de 1,3%, de 2011 para 2012, índice

percentual que é superior à taxa de crescimento populacional urbano do país, que foi de 0,9% no mesmo período.

Em relação à geração de resíduos per capita, houve um aumento de 0,4% entre 2011 e 2012, passando de 381,6 kg/ano para 383,2 kg/ano, o que significa que cada brasileiro produz, em média, 1,049 kg de resíduos diariamente (ABRELPE, 2012).

E para onde vai todo esse material? Ainda segundo o panorama da ABRELPE (2012), 58% do montante de resíduos sólidos urbanos do país tem como destino o aterro sanitário; 24,2% vai para o aterro controlado e 17,8% acaba no lixão.

O Relatório sobre a Geração de Resíduos Sólidos Industriais (RSI) no Estado do Rio Grande do Sul, de maio de 2003, realizado pela FEPAM (Fundação Estadual de Proteção Ambiental) apresenta a quantidade de resíduos sólidos industriais não perigosos gerados por cada setor industrial em toneladas/ano (Tabela 1):

Tabela 1 - Distribuição da quantidade de RSI não perigosos gerados por setor industrial (em t/ano)

<b>Setor Industrial</b>	<b>Quantidade (t/ano)</b>
Alimentar	665.451
Metalúrgico	296.472
Química	288.738
Papel e Celulose	253.776
Bebidas	165.562
Couro	127.317
Mecânico	121.290
Madeira	104.435
Fumo	47.697
Usina Termelétrica	46.179
Plástico	13.895
Minerais Não Metálicos	12.039
Têxtil	11.789
Borracha	10.278
Diversos	6.456
Elétrico/eletrônico	3.308
Total	2.174.682

Fonte: FEPAM (2003, p. 13).

Inserido no montante de resíduos gerados pela indústria de papel e celulose (4ª maior produtora de resíduos no Rio Grande do Sul, de acordo com as informações anteriores) e com grande potencial de uso, está o tubo de papelão, objeto de estudo deste trabalho. Caracterizado como resíduo industrial não perigoso, os tubos de papelão são utilizados em



diversos segmentos industriais – seja na forma de embalagem ou como suporte para o enrolamento de tecido, papéis, fios, borrachas, adesivos e outros tipos de películas.

Segundo Preston e Bank (2012, p. 657) os tubos de papel são produtos de alto nível de engenharia estrutural, usados principalmente nas indústrias de papel e tecidos. Também são utilizados como formas para construção de pilares de concreto.

Um dos possíveis caminhos para a redução ou eliminação dos resíduos sólidos é a aplicação do conceito dos 3Rs (reduzir, reutilizar e reciclar), que visa a melhoria das condições ambientais e uma relação mais harmônica entre o ambiente natural e o consumidor. Para Waldman (2010, p. 168) é possível repensar a interação com o mundo de modo a gerar menos resíduo, e reutilizar e reciclar o que aparentemente não tem qualquer serventia. A seguir (Figura 1) é apresentado um esquema simplificado da inserção dos 3Rs no ciclo de vida dos produtos.

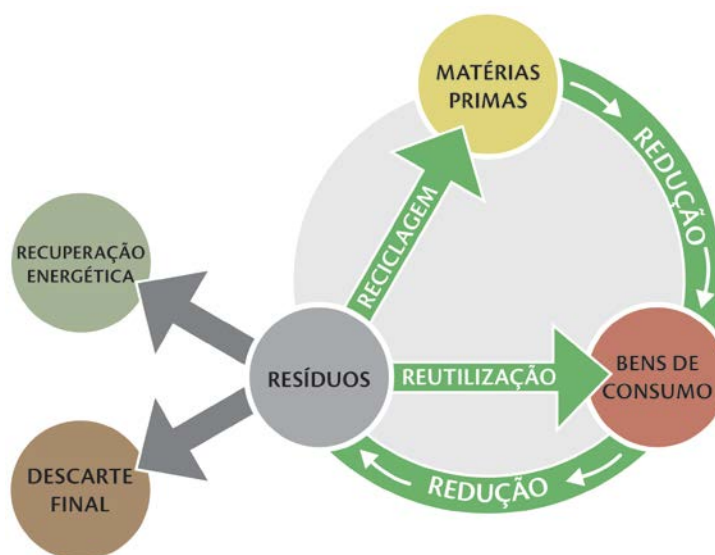


Figura 1 - Esquema representativo da inserção dos 3Rs no ciclo dos produtos.  
Fonte: adaptado de Cândido (2008).

O primeiro ponto, a redução, deve estar presente em grande parte do ciclo de vida do produto: na transformação das matérias-primas para os bens de consumo, foca-se na redução do tamanho, do peso, do número de componentes, da embalagem e da variedade de materiais a ser utilizada na fabricação dos produtos, além de se reduzir o gasto energético e com insumos. Enquadra-se aqui também o consumo consciente: reduzir a aquisição de bens que não são necessários. Após o uso, busca-se reduzir a quantidade de produtos que se tornariam resíduos, através de ações como doação e conserto das partes danificadas.

No momento em que o bem de consumo torna-se resíduo, há quatro caminhos possíveis: a reutilização, a reciclagem, a recuperação energética e o descarte final em aterro ou “lixão”.

A reutilização é definida pela Política Nacional dos Resíduos Sólidos, Lei nº 12.305 (2010) como processo de aproveitamento dos resíduos sólidos sem sua transformação biológica, física ou físico-química. Já na reciclagem, os resíduos são reintroduzidos no processo produtivo como matéria-prima.

Para Barbero e Cozzo (2009), os conceitos de reciclagem e reutilização, apesar de similares, diferenciam-se pela natureza dos produtos a que dão origem: na reciclagem prevê-se a transformação e reutilização do material (ou materiais) daquilo que é reciclado, e na reutilização volta-se a dar uso ao próprio objeto. No primeiro caso, são os materiais que perduram no tempo para além da duração do produto; e no segundo, é o próprio produto.

Na imagem a seguir (Figura 2) pode-se visualizar a sequência de processos que envolvem desde a extração da matéria prima até o descarte e tratamento e disposição final do produto, considerado como fluxo principal. Já as estratégias de remanufatura, reuso e reciclagem estão no fluxo reverso, onde os produtos e resíduos retornam no processo, retomando seu uso pelo usuário (reuso) ou pela indústria de transformação.

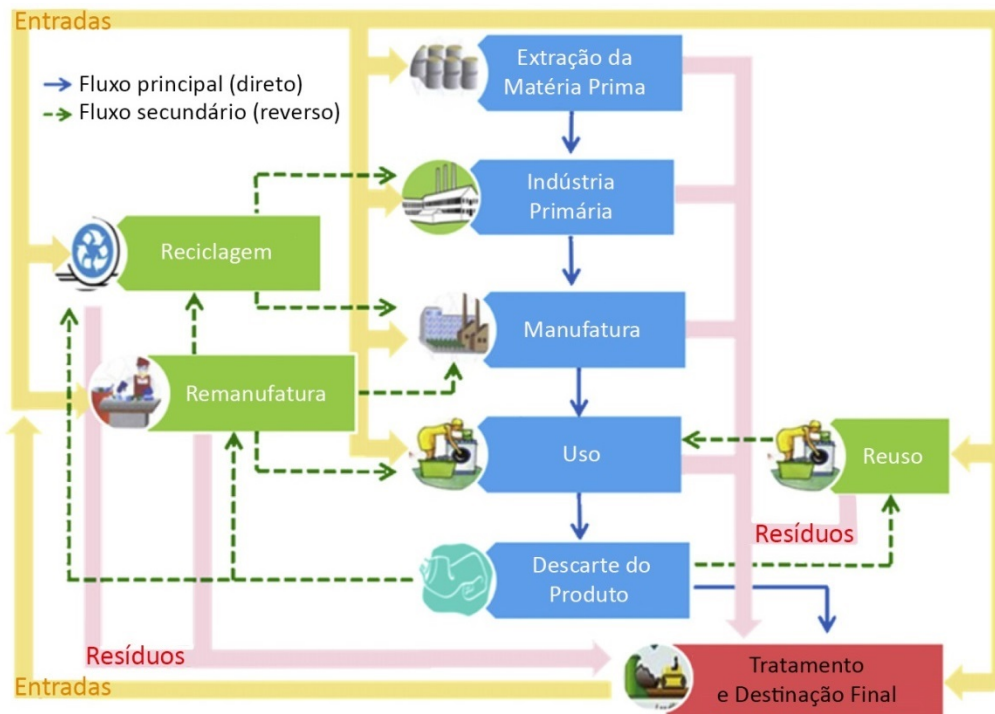


Figura 2 - Típico ciclo de vida do produto ou material, com o foco em alternativas de fim de vida como uma maneira de ajudar a manter o fluxo cíclico dos materiais contidos nos produtos.

Fonte: adaptado de Pigosso *et al.*, 2010, p. 22.

A reutilização (ou reuso) é a estratégia de fim-de-vida que reduz o uso de materiais virgens e a energia necessária para fabricar novos produtos. De acordo com o esquema anteriormente apresentado, pode ser caracterizada sinteticamente como a transformação direta dos resíduos para bens de consumo.

Kazazian (2005) nomeia a etapa após a utilização de “valorização”, onde o material pode sair do ciclo para a reutilização em outra função (iniciando um novo ciclo de uso) ou pode retornar ao estágio de fabricação pela reutilização de produto ou componentes “A valorização designa toda etapa de tratamento que dá lugar seja à reutilização do produto ou de um de seus componentes, seja à recuperação de energia pela incineração ou de matérias via reciclagem, seja à compostagem do produto” (KAZAZIAN, 2005, p. 54).

Neste trabalho, a valorização do material se dá pela reutilização de tubos de papelão em outra função, de modo a iniciar um novo ciclo de uso com uma nova vida útil e função. Frisa-se o aproveitamento da configuração formal e as características intrínsecas do material no desenvolvimento de outros produtos.

## **1.1. ABRANGÊNCIA E DELIMITAÇÃO**

O escopo deste trabalho está em estudar os parâmetros técnicos de tubos de papelão descartados para sua reutilização no desenvolvimento de produtos. Desta forma, será realizado um panorama do descarte deste material na cidade de Porto Alegre – Rio Grande do Sul, visando conhecer qual o formato, a quantidade e o destino mais recorrentes dos materiais descartados.

No que tange aos ensaios técnicos, são delimitados em quatro eixos principais: resistência, absorção, corte a laser e recobrimentos, além de experimentações sobre possíveis métodos de união. Também se caracteriza o material através de microscopia eletrônica de varredura e da análise termogravimétrica. Acredita-se que estudados os parâmetros referentes a esses aspectos, haverá subsídios suficientes que auxiliarão no design de produtos a partir de tubos de papelão descartados, tendo como diretriz balizadora o ecodesign.

Cândido (2011, p. 19) afirma que o design de produto vem passando por mudanças profundas no processo de projeto nos últimos anos, que transpassam a questão do produto ser esteticamente agradável, ser funcional e ter uma estrutura bem resolvida: a aplicação do fator ambiental vem sendo imposta como outro requisito de projeto.

Nesse sentido, deve-se salientar que o foco do trabalho incide sobre o estudo dos conceitos de ecodesign e reutilização, inserido no contexto abrangente de design para a sustentabilidade (que neste estudo não será abordado).

## 1.2. PROBLEMA DE PESQUISA

Quais são os parâmetros técnicos para a reutilização de tubos de papelão descartados no design de produtos?

## 1.3. HIPÓTESE

Acredita-se que, através do reconhecimento das características do material e se aplicados os parâmetros técnicos adequados de uso, os tubos de papelão descartados são um material com relevante possibilidade de utilização no desenvolvimento de produtos.

## 1.4. OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho é identificar e propor parâmetros técnicos de resistência, absorção, recobrimentos e corte a laser para a reutilização de tubos de papelão, provenientes de descarte, no desenvolvimento de produtos.

São objetivos específicos:

- Discutir o conceito de ecodesign e suas diretrizes, com enfoque em reutilização;
- Compreender o processo de fabricação dos tubos de papelão;
- Mapear o contexto do descarte de tubos de papelão em Porto Alegre, visitando indústrias dos setores gráfico e de confecção;
- Reconhecer e avaliar as propriedades do material através do uso de ferramentas técnico-científicas;
- Experimentar a possibilidade de emprego de diferentes métodos de união dos tubos de papelão, balizados pelos critérios de ecodesign.

## 1.5. JUSTIFICATIVA

Para maximizar a utilização dos tubos, apresentando-o como um material passível de aplicação no design, torna-se necessário que suas características e seus parâmetros técnicos sejam reconhecidos e difundidos. Assim, uma das justificativas para a execução desta pesquisa é a carência de estudos científicos sobre o uso do material em questão no design de produtos.

A definição por este material, em detrimento de muitos outros resíduos com potencial de uso que poderiam ser estudados deu-se pelos seguintes motivos: sua não-periculosidade, possibilidade de aprofundamento de estudos já realizados na graduação e o fato de ser fabricado com materiais reciclados, o que evidencia seu potencial na aplicação em produtos que respeitam o fator ecológico.

Sobre este assunto, Petutschnigg e Ebner (2007, p. 408) observam que como o papel consiste principalmente em fibras de madeira e é um recurso renovável, pode ser um material interessante e sustentável para as futuras demandas, substituindo outros. Os mesmos autores também defendem que a aplicação de novos materiais é dependente principalmente das suas propriedades específicas, incentivando a análise e estudo destas características.

Não raro podem-se ver tubos despejados em calçadas, latas de lixo e sendo recolhidos pelos coletores de recicláveis – apesar de sua reciclagem não ser visada, já que este material é composto por fibras de papel reciclado e pela dificuldade em sua compactação e trituração devido a sua resistência (informação verbal<sup>1</sup>).

O tema desta dissertação está em sintonia com a atual Política Nacional de Resíduos Sólidos, que reúne o conjunto de princípios, objetivos, instrumentos, diretrizes, metas e ações adotados pelo Governo Federal, isoladamente ou em regime de cooperação com Estados, Distrito Federal, Municípios ou particulares, com vistas à gestão integrada e ao gerenciamento ambientalmente adequado dos resíduos sólidos.

Está entre os princípios da Lei 12.305, conforme Art. 6º, “o reconhecimento do resíduo sólido reutilizável e reciclável como um bem econômico e de valor social, gerador de trabalho e renda e promotor de cidadania”. Também é expressa no Artigo 9 a ordem de prioridade a ser observada na gestão e gerenciamento de resíduos sólidos: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, sendo essa última descrita como a disposição em aterro sanitário.

A Figura 3 apresenta graficamente esta ordem de prioridade, que considera os potenciais benefícios das ações em termos de menor gasto de energia, materiais e impactos ambientais – quanto maior a largura da seção, maior a preferência por aquela opção de gerenciamento dos resíduos.

---

<sup>1</sup> Comentário de Felipe Basso, supervisor de compras da CTS Papéis, durante a visita à referida indústria, em Canoas, no dia 29 de maio de 2012.



Figura 3 - Hierarquia dos resíduos. Fonte: adaptado de Gomes (2011, p. 17).

Observa-se que a reutilização é a primeira opção quando já houve a geração do resíduo, já que aumenta e valoriza o ciclo de vida do produto sem necessidade da desintegração do material, proporcionando um destino correto. Assim, aproveita-se a configuração formal, a energia e matéria-prima agregadas no processo de fabricação e as propriedades inerentes ao produto ou material que é descartado.

Para Pigozzo *et al.* (2010), as principais estratégias de recuperação que podem ser identificadas são o reuso direto, o reuso após pequenos reparos, sistema produto-serviço, reciclagem dos materiais e remanufatura dos produtos ou seus componentes. Fazendo a hierarquia dessas alternativas, ordenadas de acordo com seu impacto ambiental, o reuso direto de um produto está no topo e a reciclagem e disposição final em último.

Conforme afirma Proctor (2009), à medida que o ser humano segue produzindo quantidades inaceitáveis de resíduos, alguns designers buscam maneiras de processar materiais sem uso para transformá-los em novos produtos, visando prevenir que materiais potencialmente úteis acabem sendo descartados. Desta forma, a reutilização aparece como alternativa de criação que não implica em gasto energético, como é o caso da reciclagem.

Gomes (2011, p. 2) defende que considerações ecológicas e de sustentabilidade, aliadas a outras de ordem econômica e social, fazem das várias tipologias de reutilização opções válidas e de redobrado interesse num mundo de recursos escassos, necessidades crescentes e com problemas sérios na gestão dos resíduos.

Somando-se aos motivos citados acima está o apreço e motivação pessoal pelo tema, que vem de longa data. A utilização de materiais e produtos que seriam descartados, no desenvolvimento de novos produtos, com um novo ciclo de vida útil (e fora das funções para as quais foram originalmente produzidos), fascina há muitos anos a autora da presente pesquisa.

## 1.6. ESTRUTURA DO TRABALHO

Esta dissertação está estruturada em cinco capítulos: (I) Introdução, (II) Fundamentação Teórica e Prática, (III) Materiais e Métodos, (IV) Resultados e Discussões e (V) Considerações Finais, além das Referências Bibliográficas e Apêndices. O primeiro capítulo discute as considerações iniciais da pesquisa, necessárias ao entendimento dos demais capítulos.

A Fundamentação Teórica e Prática é composta por três seções. A primeira traz um breve panorama histórico sobre ecodesign e aborda as diretrizes projetuais desta forma de ver e fazer design. Na sequência, foca-se em reutilização, estratégia de ecodesign que baliza o presente trabalho, apresentando conceitos e sua aplicação no design de produtos. A terceira seção corresponde aos estudos relacionados ao material tubo de papelão, envolvendo questões como a produção do papel, o processo de fabricação dos tubos e a apresentação de um breve estado da arte do seu uso no design de produtos.

O terceiro capítulo descreve os materiais e métodos utilizados na pesquisa, sendo que esta última seção expõe e detalha todos os procedimentos envolvidos na realização dos ensaios técnicos e levantamento de dados.

No capítulo Resultados e Discussões são englobadas as informações extraídas do panorama do descarte e os parâmetros técnicos reconhecidos através da realização dos ensaios e experimentos. O último capítulo expõe as considerações finais desta pesquisa, incluindo a seção de sugestões para trabalhos futuros.

Por fim, são apresentadas as Referências Bibliográficas utilizadas na construção deste trabalho e os Apêndices.





## Capítulo 2

# FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E PRÁTICA

*Há design no lixo,  
e “lixo” também pode ser design.*

Reflexão pessoal

O presente capítulo discute o conceito de ecodesign, a partir da problemática do esgotamento de recursos e aumento dos rejeitos. Na sequência, são apresentadas algumas diretrizes deste, que serão balizadoras em determinadas definições nos métodos empregados. Dentro dessas diretrizes, desencadeia-se o conceito de reutilização – tema foco deste trabalho – que é seguido de um breve panorama sobre sua aplicação no design de produtos.

Após a explanação sobre os conceitos norteadores, inicia-se a fundamentação teórica sobre o tubo de papelão, objeto de estudo deste trabalho. Desta forma, apresentam-se algumas características do material, seguido de informações sobre a produção de papel e, posteriormente, sobre a fabricação dos tubos. O capítulo é finalizado com a apresentação do estado da arte sobre o uso dos tubos de papelão no design de produtos e como elemento construtivo.

### 2.1. ECODESIGN

A existência de lixo é uma decorrência da atividade humana: na natureza, quaisquer resíduos (animais mortos, folhas, galhos) são decompostos pelo solo, fornecendo nutrientes para outros seres, reintegrando-se a um novo processo e formando um ciclo. Para Capra (1997) as relações estabelecidas entre as comunidades de organismos nos ecossistemas são perfeitas: o que é resíduo para uma espécie, é alimento para a outra.

Contudo, o sistema de produção industrial não segue este ciclo: “as matérias-primas são extraídas da natureza, depois transformadas em produtos acabados para abastecer o mercado, produzindo resíduos que representam sua única devolução para a biosfera. Daí

um duplo desequilíbrio: de um lado, o esgotamento dos recursos naturais, de outro, um aumento crescente dos resíduos provenientes do consumo, que são fontes de poluição” (KAZAZIAN, 2005, p. 51).

Nos anos 60, o designer austríaco Victor Papanek passou a criticar a sociedade de consumo e descartabilidade, utilizando a expressão “cultura Kleenex” (referência direta à marca de lenços descartáveis). Segundo ele, isso resume o comportamento adotado como comum na época, onde tudo era usado e jogado fora. Em 1971, publicou seu livro *Design for the Real World* – um texto premonitório em relação às preocupações dos designers interessados na ecologia, segundo Kazazian (2005), que lançou as diretrizes do design ecológico e social.

Cardoso (2000) argumenta que por volta de 1973, pela primeira vez, o meio empresarial obrigou-se a reconhecer que as matérias-primas não eram inesgotáveis – com a crise do petróleo, teve-se a primeira concretização econômica do limite dos recursos naturais. Isso facilitou a difusão de mensagens do movimento ambientalista por toda a sociedade.

Assim, abordagens anteriormente não muito consideradas – como prever o impacto ecológico do produto e minimizar o gasto de materiais – começaram a ser disseminadas no desenvolvimento de projetos.

Os limites ambientais são testemunhos de que já não é mais possível conceber qualquer atividade de design sem confrontá-la com o conjunto das relações que, durante o seu ciclo de vida, o produto vai ter no meio ambiente. Ninguém nega que um artefato deve provocar um baixo impacto ambiental ao ser produzido, distribuído, utilizado e eliminado/descartado (MANZINI; VEZZOLI, 2002, p. 99).

Neste contexto, surge o ecodesign, uma forma de projetar que considera os critérios ecológicos com tanta relevância quanto os demais requisitos projetuais. De acordo com a definição de Kazazian (2005, p. 36) o ecodesign é uma abordagem que reduz os impactos de um produto, conservando sua qualidade de uso, funcionalidade e desempenho para melhorar a qualidade de vida dos usuários. Assim, os aspectos ambientais são tratados com o mesmo status quanto a funcionalidade, durabilidade, custos, estética, ergonomia e qualidade (PIGOSSO *et al.*, 2010).

Para Cândido (2011, p. 16) o ecodesign diz respeito ao “ato de projetar produtos com a preocupação focada no ambiente e em todo seu ciclo de vida, evitando ou diminuindo as agressões ao ecossistema”. A introdução deste conceito como elemento de ordem na concepção de novos produtos trouxe aos projetistas a consciência de seu papel em uma grande cadeia de intervenções sobre o meio ambiente. Abordagens anteriormente não muito consideradas – como reduzir, reutilizar, reciclar, aproveitar fontes alternativas de

energia e produzir sem excessos – ganharam o status de imperativos do projeto (BARBOSA FILHO, 2009).

São estratégias para integrar os requisitos ambientais no design, segundo Krucken (2009): a) minimizar o uso de recursos e de energia; b) selecionar materiais, processos e fontes energéticas de maior compatibilidade; c) repensar o produto e suas funções, otimizando sua vida útil; d) estender a vida dos materiais, considerando a sua reutilização.

As estratégias citadas por Krucken (2009) vão ao encontro da roda de Eco Concepção desenvolvida por Kazazian (2005), que guia o desenvolvimento do projeto em todas as suas etapas, desde a ideia inicial do projeto até a otimização do fim da vida, visando reduzir os impactos e os resíduos produzidos (Figura 4).

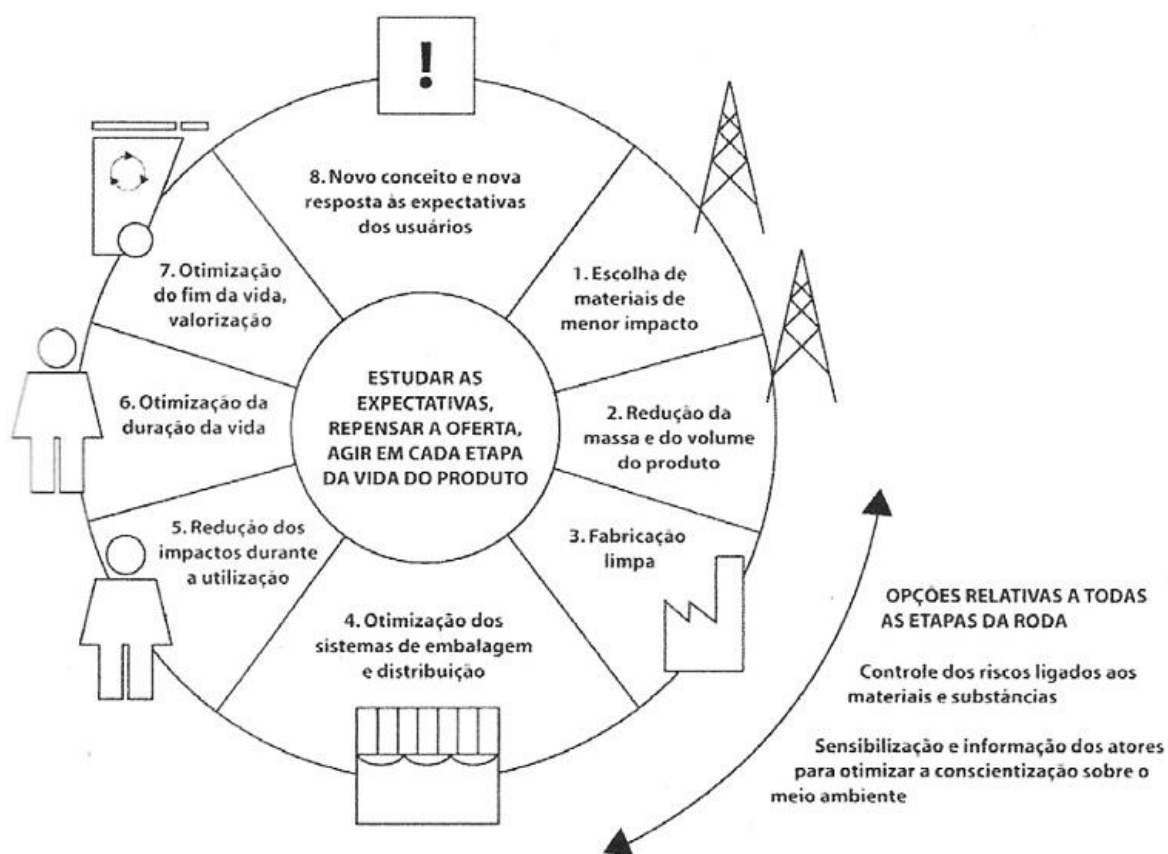


Figura 4 - Roda de Eco Concepção. Fonte: Kazazian (2005, p. 37).

### 2.1.1. Diretrizes do ecodesign

Por meio de pesquisa bibliográfica, compilaram-se nesta seção algumas diretrizes de ecodesign, consideradas indispensáveis para balizar a realização dos ensaios técnicos. Os

autores que embasaram a definição destas foram: Manzini e Vezzoli (2002), Kazazian (2005), Ljungberg (2007), Barbosa Filho (2009), Fuad-Luke (2004) e Cândido (2011).

Para facilitar a visualização e encadeamento lógico das diretrizes, estas foram agrupadas (Quadro 1) em cinco etapas fundamentais e intrínsecas ao design de produtos: projeto, fabricação, distribuição, utilização e fim da vida útil.

Quadro 1 – Diretrizes de ecodesign.

Etapas	Diretrizes de ecodesign
<b>Projeto</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Visar a anti-obsolescência</li> <li>• Projetar prevendo novos usos</li> <li>• Projetar a reutilização do todo ou de partes</li> <li>• Prever a desmontagem e a reciclagem</li> <li>• Evitar dimensionamentos excessivos</li> <li>• Projetar produtos com funções integradas</li> <li>• Visar a modularidade e multifuncionalidade</li> <li>• Estimular o uso por vários usuários e em mais de uma função</li> <li>• Reduzir o uso de materiais e de energia</li> <li>• Minimizar as perdas e os refugos</li> <li>• Privilegiar materiais de procedência ecológica, certificados, biodegradáveis, leves, locais, renováveis e abundantes.</li> <li>• Evitar a combinação de materiais e compósitos</li> <li>• Aplicar a estratégia do monomaterialismo</li> <li>• Utilizar materiais recicláveis e/ou reciclados</li> <li>• Eliminar a utilização de materiais tóxicos e poluentes</li> </ul>
<b>Fabricação</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Empregar processos produtivos que minimizem o consumo de materiais e consumo energético</li> <li>• Priorizar a utilização de tecnologias e materiais acessíveis</li> <li>• Considerar o design para a desmontagem</li> <li>• Reduzir a produção de resíduos</li> <li>• Não utilizar processos de fabricação agressivos ao operário</li> <li>• Eliminar o uso de materiais que geram resíduos tóxicos</li> <li>• Evitar a união permanente de materiais distintos</li> </ul>
<b>Distribuição</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Minimizar os gastos energéticos e recursos para transporte</li> <li>• Projetar a embalagem como parte integrada do produto</li> <li>• Reduzir o peso do produto, facilitando a venda e o transporte</li> <li>• Estimular a montagem pelo usuário final</li> </ul>

<b>Utilização</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Projetar artefatos duráveis, ampliando o ciclo de vida</li> <li>• Facilitar a manutenção, reposição e reparo de peças</li> <li>• Minimizar as possibilidades de uso inadequado</li> <li>• Considerar o uso compartilhado dos produtos</li> <li>• Evitar o consumo de água e energia</li> </ul>
<b>Fim da vida útil</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Facilitar a separação das partes e dos materiais (desmontagem)</li> <li>• Considerar a remanufatura</li> <li>• Projetar a logística reversa</li> <li>• Possibilitar a reutilização do produto, na mesma ou em outra função</li> <li>• Considerar a recuperação energética</li> <li>• Facilitar a reciclagem</li> <li>• Estender ao máximo o ciclo de vida dos materiais</li> </ul>

Fonte: adaptado de : Manzini e Vezzoli (2002), Kazazian (2005), Ljungberg (2007), Barbosa Filho (2009), Fuad-Luke (2004) e Cândido (2011).

Além destas linhas gerais a serem seguidas em projetos que considerem o ecodesign, e tendo em vista a utilização dos tubos de papelão na área do design de produto, torna-se necessário o estudo de materiais impermeabilizantes a serem utilizados nos ensaios de recobrimento, e de técnicas construtivas para a aplicação nos testes de uniões.

Assim, buscou-se na literatura um referencial sobre os diferentes tipos de tintas e sua relação com o meio ambiente, e também sobre métodos de junção na perspectiva do ecodesign.

#### 2.1.1.1. Diretrizes do ecodesign: ensaios de recobrimento

Um dos eixos de pesquisa deste trabalho está focado no estudo de materiais de recobrimento (tintas e vernizes), que correspondam aos critérios de ecodesign, e que possam evitar a absorção de umidade pelos tubos de papelão.

Os materiais naturais – e os derivados deles, como é o caso do tubo de papelão – possuem uma série de vantagens típicas, dentre elas: serem renováveis, leves e recicláveis. Por outro lado, possuem aspectos que podem ser considerados desvantagens, como sua fácil decomposição. Assim, apesar do seu intrínseco caráter ecológico, podem tornar-se ambientalmente prejudiciais se coloridos ou impregnados com substâncias tóxicas para evitar a decomposição (LJUNGBERG, 2007, p. 472).

As definições de Fazenda (2005) sobre os componentes básicos das tintas são:

- Resina: parte não volátil da tinta, que aglomera as partículas de pigmentos.
- Pigmento: material sólido finamente dividido, utilizado para conferir cor, opacidade e características de resistência.
- Aditivo: proporciona características especiais ou melhora as propriedades das tintas.
- Solvente: líquido volátil utilizado para dissolver a resina.

Segundo Manzini e Vezzoli (2002, p. 155) as tintas são problemáticas, devido às potenciais emissões de Compostos Orgânicos Voláteis (COV), que podem ser reduzidas utilizando tintas vegetais ou à base de água. Para os autores, nos acabamentos em madeiras (material citado como exemplo que mais se assemelha ao tubo de papelão), é melhor evitar as pinturas e solventes à base de derivados do petróleo (tem altas emissões de COV), sendo aconselhados as tintas e vernizes à base de água e os vernizes vulcanizados a ultravioleta.

Para Fazenda *et al.* (2005, p. 5-6), a necessidade de proteger o meio ambiente é um fator importante no desenvolvimento tecnológico das tintas; tem-se alcançado grandes progressos, permitindo diminuir a emissão de solventes orgânicos na aplicação e cura das tintas. Por exemplo: a substituição dos sistemas à base de solventes orgânicos por sistemas aquosos; desenvolvimento de tintas em pó e de cura por radiação e redução ou eliminação de produtos tóxicos na composição das tintas.

As resinas à base de água são muito parecidas com as à base de solventes, mas não é uma substituição simples de solventes orgânicos por água. Exigiu pesquisa e desenvolvimento em aditivos e técnicas de fabricação para que as tintas pudessem conter menos solventes (FAZENDA, 2005). As vantagens dessas tintas são várias: menor exposição do pintor aos efeitos do solvente, menor risco de explosões e incêndio e diminuição da contaminação ambiental.

Na Figura 5 pode-se comparar a composição de alguns tipos de tintas em termos da porcentagem presente de solventes, resina, pigmentos e água. Observa-se a baixa porcentagem de solventes (cerca de 2%) nas tintas à base de água, enquanto que nas tintas convencionais este valor chega a 70%.



Figura 5 - Composição de alguns tipos de tintas. Fonte: Fazenda (2005, p. 748).

Nennewitz *et al.* (2008, p. 156) apresentam os perigos do uso de solventes e diluentes orgânicos, como álcoois, éteres e hidrocarbonetos. O benzeno, por exemplo, é nocivo à saúde, cancerígeno e passível de explosão; tolueno, xileno e estireno podem provocar inconsciência e alterações na formação do sangue; etanol e álcool são passíveis de explosão, nocivos à saúde, podem ser absorvidos pela pele, danificam o sistema nervoso, o fígado e os rins. Em contraponto, a água é amigável ao meio ambiente e não nociva à saúde.

A preocupação em evitar a absorção da água pelos tubos de papelão também aparece no artigo de Preston e Bank (2012), que investigaram diferentes métodos de impermeabilização. Segundo os autores, os raios ultravioletas do sol são uma das possíveis formas de causar danos, mas o principal é manter os tubos secos, já que eles são muito sensíveis às mudanças do teor de umidade, perdendo sua resistência.

Assim, os tubos utilizados no projeto de Preston e Bank (2012, p. 663), fabricados especialmente para o trabalho, apresentavam uma camada especial para barrar a umidade, abaixo das primeiras camadas de papel. Desta forma, a camada encerada prevenia que a umidade penetrasse nas camadas mais internas da parede do tubo. Um segundo método para evitar os danos causados pela chuva e umidade foi cobrir os tubos com um impermeabilizante para área externa; os melhores resultados foram apresentados pela resina poliuretana, aplicada em quatro finas demãos.

Apesar de reconhecido na literatura como um bom impermeabilizante, a resina poliuretana não será testada neste trabalho por não estar de acordo com as diretrizes de ecodesign – é totalmente insolúvel em água – e também por não ser um material facilmente encontrado à venda.

### 2.1.1.2. Diretrizes do ecodesign: métodos de união

Os métodos de uniões a serem estudados devem estar coerentes com os princípios de ecodesign, cujas linhas guias para a desmontagem são, segundo Manzini e Vezzoli (2002, p. 253-260):

- Minimizar e facilitar as operações para a desmontagem e separação;
- Usar sistemas de junção removíveis/reversíveis;
- Se usar sistemas de junção permanente, que sejam de fácil extração;
- Tornar desmontáveis principalmente os componentes e os materiais tóxicos e nocivos, e os de maior valor econômico;
- Adotar estruturas modulares;
- Subdividir o produto em subconjuntos que possam ser separados e manipulados como partes individuais;
- Minimizar o número de fixações.

Os mesmos autores ainda comentam que, na perspectiva da desmontagem, convém classificar as junções existentes em reversíveis ou permanentes; as reversíveis são mais indicadas para a desmontagem, sobretudo se tiver como finalidade a extensão da vida de um produto. Já no caso da reciclagem, pouco importa a integridade dos componentes, mas interessa a obtenção da maior quantidade possível de materiais não contaminados – neste caso, sistemas permanentes de junções podem resultar eficazes se os materiais forem compatíveis ou facilmente separáveis (MANZINI; VEZZOLI, 2002, p. 259).

Uma alternativa para minimizar o impacto ambiental gerado pelo aumento na produção de bens de consumo e a redução de seu ciclo de vida é empregar elementos de junção que facilitem a desmontagem do produto ao final de sua vida útil, proporcionando a reutilização ou reciclagem de seus materiais (KINDLEIN JÚNIOR; CÂNDIDO, 2008).

Dentre as diretrizes de ecodesign, no estágio do fim da vida útil, pode-se visualizar a ênfase em possibilitar a reutilização do produto, na mesma ou em outra função. A seção a seguir visa estudar este critério, foco do presente estudo, com maior aprofundamento.

## 2.2. REUTILIZAÇÃO

Pode-se considerar a reutilização como a “segunda” vida de um produto ou resíduo, muitas vezes dando-lhe outro uso, papel, significado, e até aparência. A reutilização é definida por Fuad-Luke (2004), como o uso do material sem que seu estado original seja



alterado. Reutilizar é uma forma de evitar que seja descartado aquilo que ainda pode ser utilizado da mesma – ou outra – forma.

Para Gomes (2011, p. 2), “a reutilização com a reaplicação em novas funções tem também uma dimensão importante ligada à inovação e à apropriação, em que elementos como a criatividade, o simbolismo e as características estéticas são aproveitados para acrescentar valor aos produtos”. Pigosso *et al.* (2010) comentam que a reutilização de produtos é uma solução ideal para a abordagem do fim-de-vida, no sentido de minimizar o impacto ambiental.

Uma rápida pesquisa em algumas casas poderia revelar vários exemplos de reutilização com alto grau de capacidade inventiva, que podem até passar despercebidos quando a prática do reuso é instintiva. Arames fechando pacotes, garrafas como vasos de flor, latas vazias comportando canetas. Afinal, em uma situação de emergência, quem nunca utilizou algo de forma improvisada? Podem-se perceber essas atitudes como a redefinição do definido, uma maneira de transformação combinada com a invenção de novas funções, uma forma até de design não intencional.

Para Kazazian (2005), alguns produtos já são concebidos na perspectiva de duas utilizações sucessivas e diferentes – como é o caso da embalagem de vidro de extrato de tomate; quando vazia, é utilizada como copo. Sobre este assunto, Löbach (2000) comenta que é um caso de valor adicional, em que a embalagem é utilizada com valor de uso duradouro. Outro exemplo recorrente de reutilização de embalagens é o pote de sorvete, que volta para o freezer armazenando outros tipos de alimentos.

Por outro lado, Papanek (1995) afirma que em sociedades pobres, muitas vezes a escassez de produtos torna a reutilização uma necessidade, praticamente uma forma de vida. Pouco (ou nada) é desperdiçado quando as condições de vida são precárias; os limites entre o que é considerado rejeito ou recurso são mais fluidos. Nesse caso, a reutilização depende de uma condição social (existência de necessidades específicas) conectada a uma condição ambiental (oferta de recursos materiais) e capacidade de criação.

A reutilização não é de longe uma ideia recente. Comportamentos de reutilização estiveram sempre presentes ao longo da história com motivações que vão desde a necessidade, tal como acontecia em períodos de escassez e pobreza, até motivações como a criatividade e sentido de satisfação pessoal, e mais recentemente, o sentido de responsabilidade ambiental (GOMES, 2011, p. 20).

Na área do design, a aplicação da reutilização como balizador do projeto e até como forma de crítica ao desperdício de materiais está tomando força. Muitos designers, em

várias partes do mundo, perceberam o potencial e as possíveis áreas de aplicação de utilizar descartes e valorizar a prática e os conceitos do reuso em seus projetos.

### 2.2.1. Reutilização no design de produtos

A principal premissa da reutilização é reconstruir a noção de lixo dando novos valores, novos usos e novos significados a materiais que seriam rejeitados. No processo de design há dois momentos principais nos quais ela pode ser considerada: no início, durante as primeiras definições, pode-se incluir o reuso do produto a ser projetado como um dos requisitos. É o caso dos biscoitos que vem em latas que já propõem um uso posterior: embalagens para alimentos, porta canetas e até vasos para flores.

Aqui se enquadra o projeto de embalagem para vinho da carioca Tatiana Guimarães, fundadora da empresa Ciclus, sediada na Espanha. Fabricada em papelão reciclado, a embalagem converte-se em luminária para mesa após ser utilizada (Figura 6).



Figura 6 - Embalagem para vinho que se transforma em luminária. (A) Embalagem sendo aberta; (B) Elementos que compõem a luminária; (C) Luminária montada. Fonte: Ciclus (2012).

Também podem ser citadas as garrafas de cerveja Heineken Wobo (*World Bottle*), desenhadas pelo arquiteto holandês John Habraken em 1963 (Figura 7). Conta a história que Alfred Heineken, então dono da cervejaria, fez uma viagem para a ilha caribenha de Curaçao, onde viu dois problemas: muitas garrafas de vidro descartadas nas praias e a escassez de materiais para construção acessíveis à classe baixa. Ele então encomendou o projeto ao arquiteto, que criou as garrafas de modo que, depois de consumido o líquido, pudessem ser utilizadas como tijolos (INHABITAT, 2011).

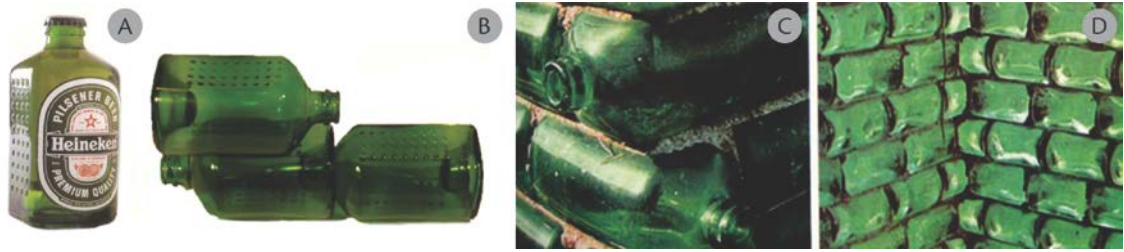


Figura 7 - Garrafas Wobo, da Heineken, que após o consumo são usadas como tijolos. (A) Garrafa individual; (B) Simulação de montagem; (C) Detalhe da construção. (D) Parede construída com as garrafas.  
Fonte: Inhabitat (2011).

Pode-se perceber que em determinados produtos, uma segunda vida do objeto – na mesma ou em outra função – já está prevista pelo designer, agregando durante o projeto determinadas características que permitem ao produto desempenhar sua função primária e, após o uso, ser reutilizado em uma função secundária.

Mas a reutilização pode ser empregada também reiniciando um novo ciclo que toma como base o último elo da cadeia produtiva, o descarte, e é este processo que tem destaque neste trabalho. Mesmo materiais e produtos cujo reuso não é claramente visível podem ser transformados com a aplicação do design. O “fim-da-vida” de um produto é considerado por Pigosso *et al.* (2010) como o momento em que um produto não satisfaz mais seu usuário.

Existem várias ações, no mundo inteiro, que mostram o potencial de utilizar descartes no desenvolvimento de produtos. Com o uso de novos materiais, pode-se dizer que também houve uma mudança no modo de ver o objeto: não somente pela sua funcionalidade e estética, mas também pelo seu significado.

Para Cardoso (2012, p. 159) lixo é apenas uma ideia que se faz do objeto, sendo que é possível redimir uma parcela das coisas que tratamos como lixo requalificando seu sentido. Para ele, diversos artistas, designers e arquitetos vêm demonstrando esse princípio ao longo das últimas décadas, lançando um olhar diferenciado sobre os mais variados artefatos descartados. Ao adquirirem novos usos, para além do descarte, os artefatos ganham uma sobrevida às vezes muito maior que a “vida útil” que lhes fora destinada por seus fabricantes.

Notável possuidor desse “olhar diferenciado” sobre os mais variados artefatos, o designer Víctor Papanek foi um dos precursores a defender o uso de materiais descartados para a confecção de produtos funcionais. Em 1962 trabalhou em Bali, na Indonésia, projetando um aparelho receptor de rádio a partir de uma lata de alumínio usada (Figura 8A), tornando-se uma ferramenta útil para populações incapazes de se comunicar com o

resto do mundo. A alimentação é através de uma vela, madeira ou qualquer outro material que queime, transformando-se em energia para ativar o receptor (QUINTAL, 2011).

Alguns anos depois, em 1969, Bonsiepe desenvolveu uma linha de brinquedos para ser produzida em uma pequena oficina que fabricava escovas e vassouras, utilizando retalhos de madeira e um processo de produção simples (BONSIEPE, 2012) - Figura 8B.

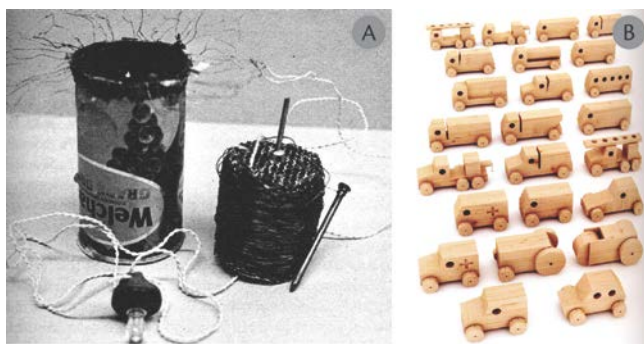


Figura 8 - (A) Tin Can Radio, de Papanek. Fonte: Quintal (2011, p. 34); (B) Brinquedos desenvolvidos por Gui Bonsiepe. Fonte: Bonsiepe (2012, p. 172).

Em seu livro *Arquitetura e Design: ecologia e ética*, de 1995, Papanek descreve sua experiência de reutilização de resíduos industriais. Segundo ele, a preocupação com a ecologia aponta para uma outra orientação do design: o aproveitamento das partes desperdiçadas na fabricação.

Em uma viagem à Polônia, Papanek viu aparas de couro de cor clara, que eram descartadas por serem muito pequenas. Conversando com os fabricantes, ele criou um artefato para manter os livros abertos – para as pessoas que gostam de ler enquanto comem – com aqueles retalhos de couro (Figura 9A). Da fabricação deste produto, passaram a sobrar aparas ainda menores; então Papanek projetou um revestimento de cabos de talheres (Figura 9B), satisfazendo às necessidades específicas de pessoas com mãos deformadas (PAPANEK, 1995, p. 65).

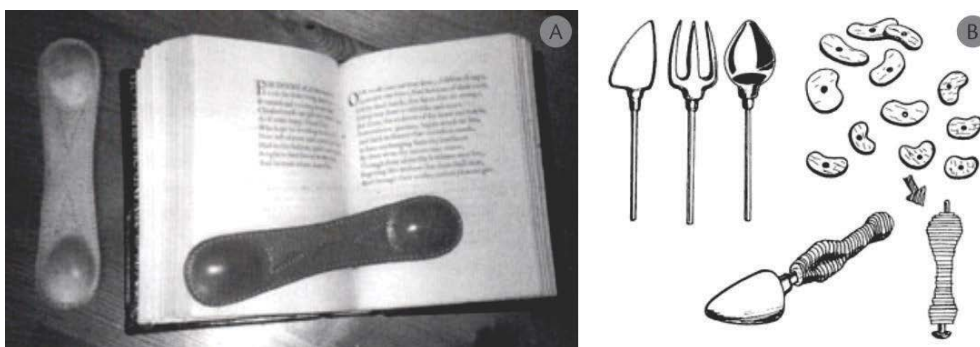


Figura 9 - (A) "Pisa-livros", artefato para manter os livros abertos, feito com retalhos de couro. (B) Cabos de talheres, feitos com as aparas do produto anterior. Fonte: Papanek (1995, p. 65).

Pode-se pensar que os projetos frutos da reutilização de materiais ou produtos são mais simples de serem realizados do que outros tipos de projetos de design; porém, este pensamento é errôneo. Em projetos deste tipo, é necessária uma coerente adequação entre o produto a ser projetado, o material que está sendo reutilizado e a forma que se pretende alcançar. Como pode ser visto nos exemplos anteriores, as ideias desenvolvidas não são óbvias nem simplistas.

Gomes (2011) reforça este pensamento, sustentando que a reutilização com alteração de funções obriga, da parte de quem a implementa, muita criatividade e imaginação. A nova função do objeto (ou objetos) não é, inicialmente, evidente – muitas vezes as alterações são tão significativas que fica difícil identificar a origem e a utilização primária daquele objeto ou material.

Para que o reuso seja possível, é necessário imaginar usos fora do âmbito das funções originais dos produtos, e ao mesmo tempo conseguir dar sentido e consistência à nova solução e função, superando as dificuldades e as limitações inerentes à reutilização. Geralmente a forma e a função originais do objeto são reconhecíveis, mas como este se apresenta fora do seu contexto habitual – não deixando de estar, ao mesmo tempo, perfeitamente adaptado à nova função – ainda ocorre um certo estranhamento. É preciso superar a aparente funcionalidade fixa associada aos produtos para poder reconhecer e aceitar uma nova funcionalidade (GOMES, 2011, p. 28-32).

São muitas as possibilidades, porém todas elas requerem a reavaliação de alguns aspectos do design. Como afirma Cardoso (2000), o designer não detém o poder de reverter tendências tão profundas e tão complexas em suas ramificações; contudo, vale a pena questionar as próprias atitudes com relação à forma de proceder no tipo de trabalho que se faz. Em suma, o design aliado à reutilização busca enfrentar problemas causados, em parte, pela influência do próprio design.

### **2.3. CONHECENDO O MATERIAL: TUBO DE PAPELÃO**

Os tubos de papelão são utilizados em diversos segmentos industriais – seja na forma de embalagem ou como suporte para o enrolamento de tecido, papéis, polímeros, adesivos e outros tipos de películas e fios. Além disso, é um material muito utilizado para armazenagem e transporte de mercadorias por sua versatilidade e baixo custo, podendo ser fabricado em diversos comprimentos, diâmetros e espessuras (Figura 10).

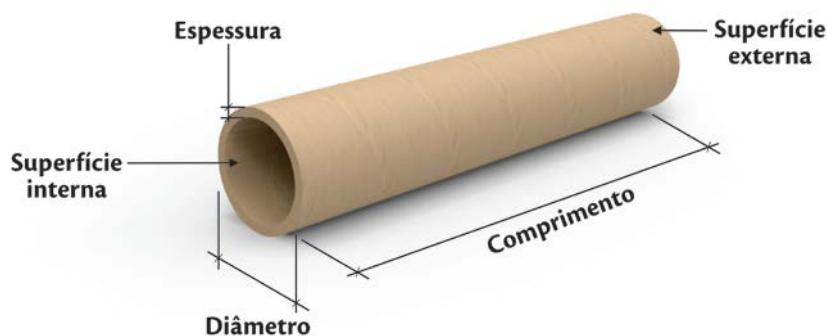


Figura 10 - Parâmetros de dimensões e denominação das partes do tubo de papelão.

Simplificadamente, é constituído por camadas de papel kraft<sup>2</sup>, coladas e configuradas em uma geometria cilíndrica oca. São utilizados dois tipos distintos de papel kraft: um para o miolo do tubo, e outro para acabamento (superfície externa).

Segundo informações do fornecedor Primo Tedesco (2008), o papel do miolo é 100% reciclado, na cor parda, em uma gramatura<sup>3</sup> que varia de 110 a 450 g/m<sup>2</sup> (também conhecido como semi-kraft ou kraft de segunda). Já o papel do acabamento é o kraft *liner*, com menor porcentual de fibra reciclada, produzido em gramaturas de 60 a 100 g/m<sup>2</sup>. O papel de acabamento é o mais caro, sendo por isso utilizado somente nas camadas externas do tubo.

Durante o processo de reciclagem do papel, as fibras que o compõe tem sua estrutura original alterada – grande porcentagem delas é quebrada – modificando, conseqüentemente, suas propriedades. Cardoso *et al.* (2012, p. 404) expõem algumas características que diferenciam as fibras recicladas das fibras virgens: redução do comprimento médio das fibras; redução das propriedades de resistência do papel; aumento da opacidade e menor flexibilidade das fibras.

Ainda segundo Cardoso *et al.* (2012), os tubos de papelão podem ser produzidos seguindo-se uma receita, ou seja, com proporções estabelecidas de diferentes papéis reciclados. Assim, é possível uma associação de papéis com diferentes características, resultando em diversas composições na fabricação dos tubos – acarretando também em mudanças nas propriedades do produto final.

Salado (2011, p. 100) e Preston e Bank (2012) comentam que em relação à sustentabilidade, os tubos de papelão promovem o uso de resíduos de papéis descartados, com conteúdo inerente de papel reciclado, e podem ser reutilizados por diversas vezes. Após

<sup>2</sup> Papel resistente feito com celulose química virgem, a partir da mistura de fibras de celulose retiradas de polpas de madeiras macias. Podem ser naturais (sem branquear) ou branqueados (FOELKEL, 2013).

<sup>3</sup> Determinação do peso do papel em gramas por metro quadrado. A gramatura afeta todas as propriedades mecânicas do papel.

estarem danificados, eles podem ser reciclados, gerando novos elementos idênticos. Além disso, o processo de fabricação destes tem baixo consumo energético e baixo impacto ambiental.

Manzini e Vezzoli (2002, p. 149) confirmam estes dados, comparando o impacto ambiental para a produção de diversos materiais: conhecidos e utilizados: o papelão aparece dentre os com menor impacto ambiental, juntamente com a porcelana e a madeira pinus, enquanto o cobre e o latão estão no topo da lista. Sendo o papel seu constituinte, convém estudar alguns aspectos referentes a este material.

### 2.3.1. Produção do papel

O papel é um dos produtos mais consumidos atualmente, fazendo parte do cotidiano da humanidade há séculos e possibilitando variadas aplicações. Segundo a Associação Brasileira de Celulose e Papel (BRACELPA, 2007a), o papel – da forma que o conhecemos, fabricado a partir de fibras vegetais – foi feito pela primeira vez na China (no ano de 105), por Ts’Ai Lun, utilizando uma mistura de água, cascas de amoreira, pedaços de bambu, rami<sup>4</sup>, redes de pesca, roupas usadas e cal. Na pasta formada, submergia-se uma forma de madeira revestida por um fino tecido de seda. Esta forma, coberta de pasta, era retirada da tina e deixava-se secar, formando uma fina folha.

Ainda segundo informações da Bracelpa (2007a), no século VIII a técnica de fabricação de papel foi aprendida pelos árabes, que contribuíram para sua evolução. Assim, iniciou-se o uso de outras fibras (linho, cânhamo) para a preparação da pasta, e o emprego de amido derivado da farinha de trigo para a colagem das fibras. Em 1884, utilizou-se a madeira pela primeira vez, fabricando-se uma pasta de fibras pelo processo de desfibramento; a partir de então, o uso da madeira para obtenção de celulose foi aprimorado, sendo a principal fonte também nos dias de hoje.

A celulose é a matéria prima básica da indústria papeleira; além de ser obtida pelo beneficiamento da madeira, pode também ser recuperada após o consumo dos produtos (reciclagem) e das aparas de papel geradas durante o processo industrial (BRACELPA, 2007b). No Brasil, a produção de papel no ano de 2011 foi de 10,1 milhões de toneladas, o que inclui o país no ranking dos dez maiores produtores mundiais de papel (BRACELPA, 2013). De todo o papel produzido no país, cerca de 45% é recuperado através da reciclagem.

---

<sup>4</sup> Fibra natural semelhante ao linho.

### 2.3.2. Processo de fabricação dos tubos de papelão

Visando conhecer o processo de fabricação dos tubos de papelão, foi realizada uma visita à indústria Tubospel, localizada em Porto Alegre. No ramo desde 1984, a fábrica produz cerca de 25 toneladas de tubos de papelão por semana.

Na fabricação dos tubos de papelão são utilizados dois tipos distintos de papel kraft, como já citado: um para o miolo do tubo, e outro para acabamento externo, que são fornecidos às indústrias na forma de bobinas em tiras de cerca de 50 mm de largura (Figura 11A). A quantidade de camadas a serem utilizadas na fabricação dos tubos depende das características (resistência, peso e comprimento) necessárias para cada aplicação. Assim, a espessura da parede do tubo pode variar de 1mm até 15mm na fábrica visitada. Várias bobinas de papel kraft são dispostas na máquina, no porta-bobinas. (Figura 11B).



Figura 11 - Bobinas de papel kraft. (A) Bobinas de papel miolo; (B) Bobinas dispostas na máquina.

As fitas seguem pela estrutura do maquinário, tracionadas por um conjunto de cabeçotes e correias, e são banhadas em um tanque (coleiro) de cola vegetal, produzida a partir de fécula de milho<sup>5</sup>. O sistema de aplicação da cola pode variar de acordo com a máquina; as faixas podem ser mergulhadas (sistema de imersão), ou apenas deslizarem por um cilindro que espalha a cola.

Após passarem pelos tanques de cola, as faixas de papel kraft são enroladas em espiral sobre um cilindro metálico giratório (mandril ou matriz, cujo diâmetro irá determinar o diâmetro interno do tubo), formando assim o tubo de papelão – Figura 12. Ao atingir o

<sup>5</sup> Diferentes tipos de cola podem ser utilizadas na fabricação dos tubos de papelão. As mais comuns são a cola a base de fécula de milho ou de mandioca e a cola PVA (poli vinil acetato), conhecida como cola branca. Porém, colas fenólicas ou a base de silicato de sódio podem ser utilizadas na fabricação de tubos para utilizações específicas, apesar de serem ambientalmente incorretas por apresentarem formaldeído em sua composição (VACCARI, 2003, p. 6).



comprimento desejado este é cortado, automática ou manualmente. Na indústria visitada, fabricam-se tubos em uma ampla gama de diâmetros, a partir de 12 mm até 152,4 mm.



Figura 12 - Faixas de papel kraft sendo enroladas no cilindro metálico, constituindo o tubo de papelão.

Após este processo, os tubos já prontos são unidos em fardos e seguem para o estoque da indústria (Figura 13). Dependendo da espessura, eles ainda podem passar por processos adicionais de secagem em estufa, reduzindo o teor de umidade.



Figura 13 - Tubos prontos, em fardos.

Retomando as diretrizes de ecodesign, focando nas etapas de seleção de materiais e fabricação, pode-se afirmar que a produção dos tubos de papelão visitada corresponde a vários critérios: o papel utilizado é reciclado, reciclável, leve, renovável, com mínima geração de refugos; a cola é renovável, biodegradável e sem substâncias tóxicas. Não há combinação de materiais, o que caracteriza o monomaterialismo. Para Santos *et al.* (2006, p. 31), os materiais auxiliares utilizados (tintas, colas e insumos) não apresentam qualquer risco conhecido à saúde humana ou ao meio ambiente.

Em relação aos processos produtivos, percebeu-se que não são usados materiais que geram resíduos tóxicos, as tecnologias são limpas, simples e acessíveis e o consumo

energético é baixo se comparado a outros tipos de indústrias – Manzini e Vezzoli (2002, p. 149) classificam a fabricação de papelão entre as indústrias de menor impacto ambiental.

Reconhecido o processo de fabricação dos tubos de papelão, a fundamentação teórica segue apresentando algumas aplicações do uso deste material no design.

### 2.3.3. Estado da arte: uso dos tubos de papelão no design de produtos

Segundo Salado (2006, p. 24), “a partir da segunda metade do século XX, os tubos de papelão começaram a ser testados para compor obras arquitetônicas e peças de mobiliário. Estudantes, pesquisadores e profissionais passaram a buscar neste material algumas vantagens e a possibilidade de uma produção rápida, limpa, leve, barata e que atenda a diferentes necessidades”.

A fim de demonstrar a viabilidade da utilização dos tubos de papelão no design de produtos, de forma a corroborar com os objetivos da presente pesquisa, realizou-se uma busca por exemplares de objetos que utilizam como principal material o tubo (seja ele reutilizado ou não). Na confecção dos produtos, muitas vezes os tubos são utilizados associados a outros materiais, como: MDF, madeira, tecidos e peças de polímero.

É na área do mobiliário que se concentram a maioria dos produtos confeccionados com este material. Petutschnigg e Ebner (2007) comentam sobre a adequação dos tubos de papelão à crescente demanda das indústrias moveleiras em produzir móveis leves.

A cadeira infantil Hecmec utiliza o mesmo sistema das cadeiras tubulares dobráveis, mas sua estrutura (totalmente desmontável) é constituída por tubos de papelão. Segundo os fabricantes, há uma redução de 40% na emissão de CO<sub>2</sub> em comparação com a fabricação das cadeiras de estrutura de aço. Além disso, ela acompanha o crescimento da criança, substituindo as peças por outras mais compridas. Os elementos coloridos são feitos de resina vegetal, que pode ser reciclada juntamente com as partes de papelão (Figura 14).



Figura 14 - Cadeira Hecmec. (A) e (B) Criança utilizando o produto; (C) Detalhe da peça de união.  
Fonte: Hecmec (2012).

O Estudio Pomada, escritório argentino focado em design sustentável dos designers Antonela Dada e Bruno Sala, fez dos tubos de papelão o material principal para as suas criações (Figura 15). Os tubos são cortados e lixados, e então colados em chapas de OSB (*Oriented Strand Board*). Após a montagem, o produto é coberto com verniz a base de água para aumentar a durabilidade.

Através de contato com os designers, reconheceu-se que o material foi estudado de forma empírica, através de experimentações e testes. O interesse nos tubos originou-se da lógica de um material disponível e pouco utilizado, que apresentava características importantes ao design de móveis – como resistência.



Figura 15 - Mobiliário da Pomada. (A) Reposera; (B) Banco; (C) Peque; (D) Chupito.  
Fonte: Pomada Web (2012).

Outra empresa estrangeira que foca no trabalho com tubos de papelão é a *Form in Void*, localizada na Inglaterra. Seu fundador, o arquiteto Julio Thomas, define resíduo como um material sem uma aplicação definida. Visando utilizar tubos de papelão que seriam descartados, criou uma linha de móveis (Figura 16), aproveitando os tubos de papelão para as pernas e um assento de madeira. A montagem é fácil, não necessitando de parafusos ou cola, e os componentes podem ser substituídos e reciclados (FORM IN VOID, 2013).



Figura 16 - Móveis da Form in Void. (A) Banco Waynee; (B) Banco Secco; (C) Modo de empilhar do banco Secco. Fonte: Form in Void (2013).

No cenário do design brasileiro está o escritório SuperLimão, fundado em 2002. Os integrantes Antônio Carlos de Mello, Thiago Rodrigues, Lula Gouveia e Sérgio Cabral

trabalham com foco no uso de materiais alternativos para a construção de produtos. Dentre eles está o tubo de papelão, que aparece associado a cordas de fibra de taboa (Figura 17A), com a parte interna pintada de branco (Figura 17B) ou recortado de forma sinuosa, valorizando o desenho das curvas (Figura 17A e C).



Figura 17 - Mobiliário do SuperLimão. (A) Banquinho Biju; (B) Cadeira Circular; (C) Mesa Ampulheta. Fonte: SuperLimão (2012).

Desde os anos 80, o artista plástico paulistano Nido Campolongo vislumbrou nas bobinas das fábricas de papel um novo jeito de criar. Iniciou seu trabalho com papelão na adolescência, produzindo sacolas de papel reciclado, e atualmente, é reconhecido no Brasil e no exterior como o “artista do papelão”. Além de desenvolver móveis e peças de decoração, também projeta ambientes como salas residenciais e comerciais (Figura 18).



Figura 18 - Produtos de papelão desenvolvidos por Nido Campolongo. (A) Casa do Leitor, 2002; (B) Estante Anéis; (C) Pufe Balanço. Fonte: Nido Campolongo (2012).

A autora do presente trabalho utilizou tubos de papelão no Trabalho de Conclusão de Curso em Desenho Industrial – habilitação Projeto de Produto, na Universidade Federal de Santa Maria. O produto desenvolvido (Figura 19), um módulo multifuncional que pode ser usado como banquetas, mesinha, estante e caixa, chamado de Mobina, reutiliza tubos de papelão descartados por uma indústria de confecção de camisetas. O material recebeu

pintura com tinta esmalte à base de água e é unido às laterais de MDF (*Medium Density Fiberboard*) com cola branca (PVA).



Figura 19 - Módulo multifuncional Mobina. Fonte: Piccoli (2010).

Também na área de brinquedos podem ser encontrados produtos confeccionados com este material. O designer Oscar Diaz enxergou nos tubos de papelão a carroceria de veículos, criando a série de brinquedos “*Tube Toys*”. Neles, a embalagem é também parte do produto, reduzindo consideravelmente a quantidade de material descartado e o custo, e também fazendo com que a criança divirta-se montando o seu próprio brinquedo.

Todas as partes necessárias para a construção de cada veículo vêm dentro de um tubo de papelão, que se transforma na própria carenagem (Figura 20). A montagem é simples, já que todos os orifícios para os encaixes já são cortados.



Figura 20 - *Tube Toys* de Oscar Diaz. (A) Embalagem do produto, modelo trator; (B) Peças do modelo; (C) Trator montado. Fonte: Oscar Diaz (2012).

O *Toobalink* é um brinquedo modular que permite a criação de diversas formas e estruturas, utilizando peças de conexão e tubos de papel higiênico e de papel toalha que

seriam descartados. Criação da designer Sara Ebert e do engenheiro Will Sakran, ensina às crianças que até mesmo o material considerado “lixo” pode ser transformado em muitas outras coisas (Figura 21).



Figura 21 - *Toobalink*, de Sara Ebert e Will Sakran. (A) Conjunto de peças de conexão e tubos; (B) Estruturas iniciais montadas; (C) Exemplo de estrutura possível de ser construída. Fonte: Toobalink (2012).

Através deste breve panorama, observou-se que são utilizados tubos de vários diâmetros e comprimentos, tanto no sentido vertical quanto no horizontal. Também são demonstradas as características estéticas do material, que pode ser empregado em seu formato original bem como pode ser recortado, explorando-se as formas vazadas e a repetição do padrão circular, criando formatos diferenciados.

Além do uso na fabricação de móveis e brinquedos, reconheceu-se a aplicação dos tubos de papelão em construções e estruturas superdimensionadas, assunto a ser tratado na seção a seguir.

#### 2.3.4. Uso dos tubos de papelão como elementos construtivos

O arquiteto japonês Shigeru Ban é mundialmente conhecido por utilizar materiais alternativos, incluindo os tubos de papelão, em suas construções. A principal característica do seu trabalho é o fato de usar os tubos como elementos estruturais. Ele defende que a estabilidade de uma construção não depende da resistência mecânica do seu material, e afirma que o tubo de papelão é a “madeira evoluída”.

O primeiro projeto a usar os tubos com caráter estrutural foi o *Paper Arbor*, de 1989. Com 48 tubos de 33cm de diâmetro, 1,5cm de espessura e 4m de comprimento, construiu uma estrutura circular montada sobre uma base de concreto pré-moldado (Figura 22).



Figura 22 - Paper Arbor, 1989. Fonte: Shigeru Ban Architets (2013).

Ciente do papel social envolvido no trabalho da arquitetura, Shigeru desenvolveu em 1995 abrigos de emergência para os desabrigados em Kobe, no Japão (Figura 23A). A fundação foi feita com caixas de cerveja, e as paredes de tubo de papelão. Cada casa, de 52m<sup>2</sup>, custou menos que dois mil dólares para ser construída. As unidades são fáceis de desmontar, e os materiais são facilmente descartados ou reciclados.

Em 2008, em colaboração com universidades chinesas e japonesas, foi concebida a construção de salas de aula temporárias na escola atingida pelo terremoto em Chengdu, China. Em quarenta dias, foram construídos nove salas de aula completamente estruturadas com tubos de papelão (Figura 23B).

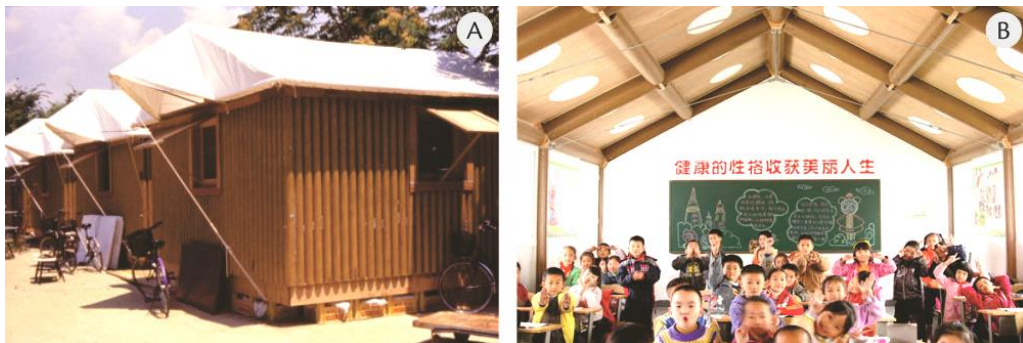


Figura 23 - Construções emergenciais criados por Shigeru Ban. (A) Abrigo em Kobe; (B) Sala de aula em Chendu. Fonte: Shigeru Ban Architets, 2013.

Um dos mais recentes projetos finalizados, construído em 2013, é a Igreja de Papelão, localizada na Nova Zelândia. Em fevereiro de 2011 um terremoto destruiu a Igreja que era o símbolo da cidade. Assim, Shigeru Ban foi contatado para projetar uma igreja temporária. O resultado é um espaço em formato de prisma triangular (Figura 24), com capacidade para 700 pessoas, que também é utilizado para concertos.

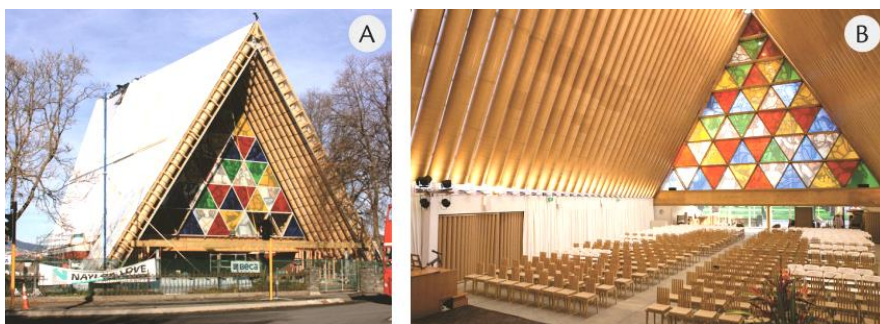


Figura 24 - Igreja de Papelão, localizada na Nova Zelândia. (A) Vista externa; (B) Vista interna.  
Fonte: Shigeru Ban Architets, 2013.

O arquiteto ainda criou algumas peças de mobiliário utilizando tubos de papelão, entre os anos de 1997 e 1998. A coleção “Carta” é feita com pernas de madeira e assento de pequenos tubos de papelão, e inclui uma cadeira, uma chaise-longue e um biombo (Figura 25A). O banco produzido em 1997 possui as quatro pernas desmontáveis, que podem ser condicionadas no interior oco do assento (Figura 25B).



Figura 25 - (A) Coleção de móveis “Carta”; (B) Banco. Fonte: Shigeru Ban Architets, 2013.

Não convém a este trabalho apresentar todas as obras de Shigeru, pois são muitos os projetos; dentre eles, pavilhões para feiras, residências particulares, museus, memoriais, arcos e pontes. O objetivo é expor que os tubos de papelão também são utilizados em projetos de grande dimensionamento, com fins estruturais, resultando em construções resistentes, de baixo custo e rápidas de serem erguidas.

Além de Shigeru, outros arquitetos e engenheiros desenvolveram propostas de construções com tubos de papelão. Dentre eles, podem ser citados Vaccari (2003), que projetou um sistema construtivo modular para a construção de habitações ecológicas e econômicas (Figura 26A); Preston e Bank (2011), que construíram uma estrutura temporária em formato de portais com os tubos de papelão curvados em arcos (Figura 26B); Salado (2011), que em sua tese desenvolveu painéis de vedação vertical de tubos de papelão,



confeccionando uma célula teste de 23,84m<sup>2</sup> para avaliar o desempenho técnico e estrutural dos painéis propostos (Figura 26C); e Laverde e Salado (2012) que construíram uma cúpula geodésica de 2,5m de diâmetro como oficina realizada com os estudantes de Arquitetura e Urbanismo de Universidade Federal de Uberlândia /MG (Figura 26D).



Figura 26 - Construções com tubos de papelão. (A) Sistema construtivo modular da arquiteta Mirian Vaccari. Fonte: Vaccari (2003, p. 13); (B) Portais com tubos de papelão arqueados. Fonte: Preston e Bank (2011, p. 665); (C) Célula teste de Gerusa Salado. Fonte: Salado (2011, p. 115); (D) Estrutura geodésica construída durante oficina. Fonte Laverde e Salado (2012, p. 8).

O tubo de papelão é um material também encontrado no artesanato, principalmente por fazer parte do resíduo domiciliar – rolos de papel higiênico, de papel toalha e alumínio seguem o mesmo processo produtivo dos tubos de papelão utilizados na indústria, porém são confeccionados com poucas camadas de papel kraft, o que os torna menos resistentes ao esmagamento. O painel a seguir demonstra algumas aplicações desses tubos no artesanato, onde aparecem principalmente como brinquedos e decoração (Figura 27).

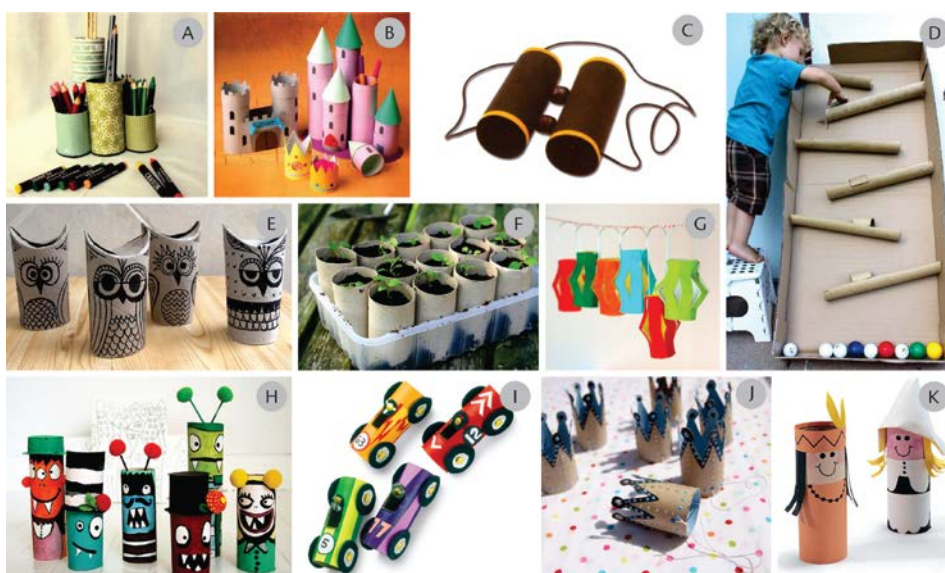


Figura 27 - Usos dos rolos de papelão no artesanato. (A) Porta-lápis; (B) Castelos; (C) Binóculos de brinquedo; (D) Circuito de bolinhas; (E), (H) e (K) Personagens feitos com colagem e pintura; (F) Sementeira; (G) Lanternas; (I) Carrinhos; (J) Chapéus de festa no formato de coroa. Fonte: Google Imagens (2012).

A observação da aplicação dos tubos, no panorama do estado da arte apresentado – tanto no design de produtos quanto em sistemas construtivos – contribuiu para a definição dos estudos e ensaios técnicos a serem realizados, e também para a visualização de diferentes maneiras de utilizar e avaliar o potencial de aplicação dos tubos de papelão: como material, como estrutura e como o próprio produto.

Depois de realizadas algumas considerações pertinentes sobre ecodesign e reconhecidas suas diretrizes, discutido e exemplificado o conceito de reutilização no design de produtos, estudados os aspectos relacionados aos tubos de papelão e sua fabricação, e exposto um breve estado da arte da sua aplicação, o próximo capítulo destina-se a apresentar os materiais e métodos utilizados nos experimentos que fundamentaram este estudo.

## Capítulo 3

# MATERIAIS E MÉTODOS

Este capítulo apresenta os métodos de investigação empregados para a o levantamento de dados, a caracterização do material e a realização dos ensaios. Também descreve os materiais utilizados em cada ensaio.

### 3.1. MATERIAIS

Os tubos de papelão utilizados neste estudo são resíduos do processo de impressão gráfica, fornecidos pela empresa Signs Up Comunicação Visual. Localizada em Porto Alegre, a empresa está no mercado há 17 anos, imprimindo em diferentes materiais, em médios e grandes formatos. O processo de coleta foi realizado durante seis semanas, até atingir-se uma quantidade de material suficiente para a realização dos ensaios.

A fim de guiar o procedimento de confecção dos corpos de prova, utilizou-se a ABNT NBR 14101:1998 – Papel e cartão – Tubetes – Amostragem para ensaios, que determina as seguintes definições:

- Espécime: tubete completo, não danificado, retirado de um lote.
- Amostra: conjunto de todos os espécimes.
- Corpo de prova: tubete completo ou uma seção de um tubete sobre o qual o ensaio é executado de acordo com o método de ensaio normalizado.

Durante todo o período anterior aos ensaios, os tubos foram protegidos das influências que pudessem alterar suas propriedades, como a luz direta do sol, flutuações climáticas consideráveis, líquidos e umidade, conforme dita a norma.

Existem vários “modelos” de tubos, variando em sua espessura e comprimento; a medida padronizada é o diâmetro interno 76,2mm. A espessura varia de acordo com o material ao qual o tubo servia como suporte ao enrolamento, sendo que neste trabalho serão analisados quatro modelos, considerados os mais recorrentes durante a coleta: 3mm, 4mm, 5mm e 6,5mm de espessura, com variação de  $\pm 0,5$ mm entre os grupos de mesma espessura. O diâmetro externo altera-se de acordo com a espessura e o comprimento varia

de 80cm a 200cm. A medição das dimensões foi realizada utilizando-se um paquímetro universal.

O detalhamento das características e quantidade de corpos de prova para cada ensaio é apresentado a seguir, no Quadro 2:

Quadro 2 - Descrição dos corpos de prova utilizados em cada ensaio.

<b>Ensaio</b>	<b>Características dos corpos de prova</b>	<b>Quantidade</b>
Microscopia eletrônica de varredura	Fragmentos de 10mm X 10mm, retirados com o auxílio de um serrote manual, de tubos de papelão de 100mm de comprimento e 5mm de espessura.	2
Análise termogravimétrica	Fragmento de 5mm X 5mm, retirado com auxílio de um serrote manual, de um espécime 100mm de comprimento e 5mm de espessura de parede.	1
Resistência à compressão axial	Cinco corpos de prova de cada espessura (3mm, 4mm, 5mm e 6,5mm) de 100mm de comprimento, de acordo com a ABNT NBR ISO 11093-9:2009 - Papel e cartão – Ensaio de tubetes– Parte 9: Determinação da resistência ao esmagamento, que determina que corpos de prova cortados de tubetes com diâmetro interno nominal menor ou igual a 300mm devem ter comprimento de 100mm, com tolerância de 1,5mm (para mais ou para menos) em todos os pontos.	20
Resistência à compressão diametral	Cinco corpos de prova de cada espessura, de 100mm de comprimento, de acordo com a ABNT NBR ISO 11093-9:2009 - Papel e cartão – Ensaio de tubetes– Parte 9: Determinação da resistência ao esmagamento.	20
Flambagem	Três corpos de prova de cada espessura, de 450mm de comprimento.	12
Absorção	Cinco corpos de prova de cada espessura, de 100mm de comprimento.	20
Recobrimentos	100mm de comprimento e parede de espessura 5mm.	65
Determinação da aderência dos recobrimentos	100mm de comprimento e parede de espessura 5mm.	10
Corte a laser	Dois corpos de prova de cada espessura, de 100mm de comprimento.	8
Experimentação sobre métodos de união	4mm de espessura de parede e comprimento variando entre 100 e 250mm.	25

Ressalta-se que, de todos os espécimes coletados, foram descartados 100mm de cada uma das extremidades, em conformidade com as 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.

Somente depois de estabelecido o equilíbrio de umidade entre os corpos de prova e atmosfera (requerido para estabilizar o estado físico dos materiais) é que os materiais foram submetidos aos ensaios. Para isso, foram mantidos por um período entre sete e dez dias no LdSM, na atmosfera condicionadora de temperatura 23°C e umidade relativa 50%, conforme ABNT NBR 14102:2002 Papel e cartão – Tubetes – Condicionamento das amostras, até que atingissem a massa constante.

Os corpos de prova para os ensaios de absorção, recobrimentos, resistência à compressão axial, diametral, flambagem e corte a laser foram cortados rigorosamente a 90° com relação ao seu eixo em uma serra circular de esquadria (Figura 28A), modelo LS1040, da Makita®; potência de 1650W e 4600 rpm, equipada com disco de corte com lâmina de wídea de 32 dentes, sem causar deformações, e suas medidas foram aferidas com o uso de trena e paquímetro universal.

A retirada das rebarbas da superfície cortada foi obtida pelo uso de lixas (Figura 28B). Identificaram-se todos os corpos de prova (com exceção dos utilizados na microscopia eletrônica de varredura e na análise termogravimétrica) com um marcador a prova d'água. Estes procedimentos foram realizados na residência da autora do presente trabalho.



Figura 28 - (A) Corte dos corpos de prova na serra circular; (B) Retirada das rebarbas com lixa.

### 3.2. MÉTODOS

Primeiramente, para levantar informações sobre o descarte dos tubos de papelão na cidade de Porto Alegre, foi realizada uma visita em alguns estabelecimentos que utilizam

esse material; para estudar suas propriedades e características, focando nas necessidades para utilização em design de produto – tendo como parâmetro balizador as diretrizes de ecodesign – e na caracterização dos tubos quanto à sua microestrutura superficial, foram utilizados os seguintes métodos: microscopia eletrônica de varredura, análise termogravimétrica, ensaios de resistência à compressão, flambagem, ensaios de absorção, testes de recobrimentos e de corte a laser. Também se estudaram métodos de união entre peças de tubos de papelão. Na Figura 29 pode-se ver o mapa conceitual do experimento, onde está listado o sequenciamento das ações realizadas.

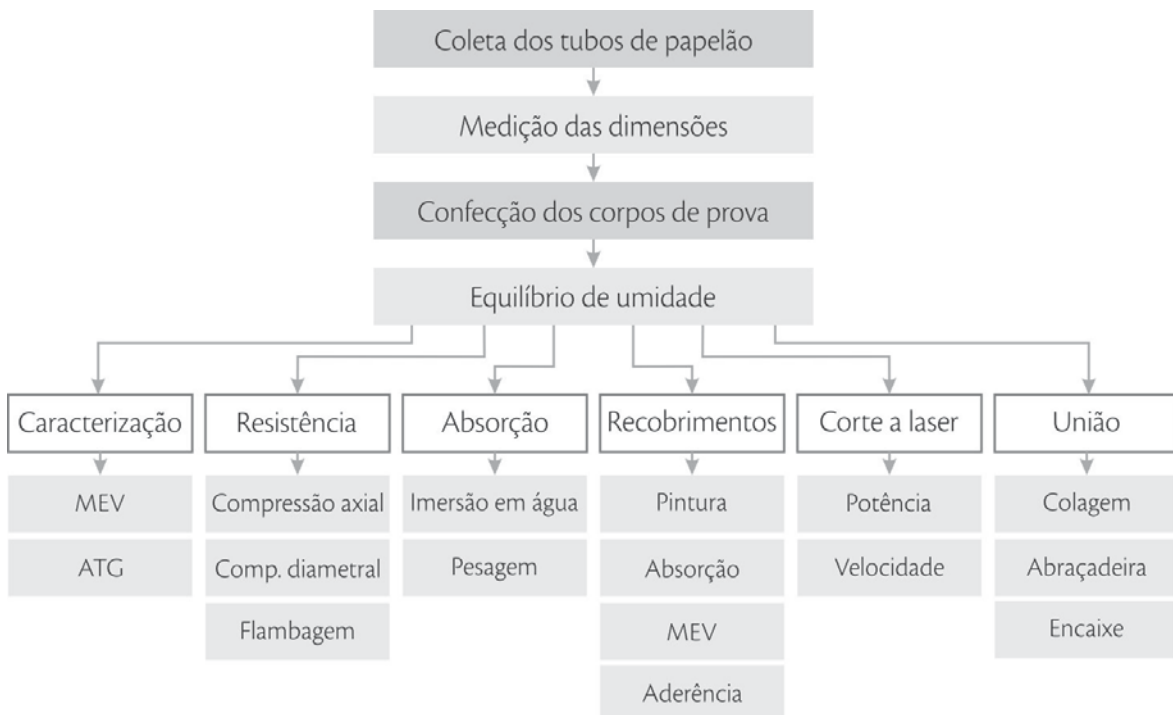


Figura 29 - Mapa conceitual do experimento.

### 3.2.1. Panorama do descarte

Visando reunir dados sobre o descarte de tubos de papelão em Porto Alegre, foram realizadas visitas a indústrias dos setores gráfico e de confecção. A definição por estes segmentos deu-se após pesquisa exploratória e leitura de referências, concluindo-se que nas indústrias destes setores há utilização e, conseqüentemente, descarte dos tubos de papelão. Com esses dados, foi possível reconhecer a quantidade de material, suas medidas habituais, qual seu destino recorrente e em qual situação ele é armazenado ou descartado.

As informações obtidas também foram a base para a decisão sobre qual padrão (diâmetro interno) de tubo de papelão seria o foco das pesquisas e ensaios. Os critérios para esta definição foram: quantidade do descarte, aparência e integridade do material no momento do descarte, condições de armazenamento e interesse da empresa em contribuir com o trabalho de dissertação.

O levantamento foi realizado da seguinte forma: listaram-se 30 indústrias de cada segmento – confecção e gráfico – de Porto Alegre, de forma casual, com base em pesquisa em banco de dados (sites de associações, sindicatos) e indicações; após isso, contataram-se as 60 indústrias por telefone ou email. Feita a explanação sobre a pesquisa e seus objetivos, apenas doze empresas – seis de cada setor – dispuseram-se a participar da entrevista, fornecendo dados, e tendo suas informações divulgadas neste trabalho de dissertação.

Os motivos pelos quais as outras empresas não participaram foram variados, desde a pouca geração de tubos de papelão (menos de 20 unidades/mês), o fato de reutilizarem os tubos internamente (para embalar materiais, enviar impressos para clientes, reenrolar tecidos) ou por existirem restrições na própria política empresarial para este tipo de pesquisa.

Assim, foram visitadas as doze empresas que utilizam e descartam tubos de papelão, todas localizadas na cidade de Porto Alegre. Na data estipulada, utilizou-se a ferramenta de entrevista com roteiro estruturado– onde o pesquisador toma nota das questões, feitas oralmente ao entrevistado– visando conhecer os resíduos gerados pela empresa, o valor gasto na manutenção e destinação destes materiais, o padrão dos tubos, dentre outros questionamentos (entrevista completa no Apêndice A).

O foco desta pesquisa não é ter dados estatísticos sobre uma amostra representativa do setor, para ampliar os resultados à totalidade; por isso, não realizaram-se cálculos de amostragem. O objetivo incide em mapear dados sobre o descarte dos tubos, fornecendo dados que justifiquem a realização deste estudo sobre o material.

### **3.2.2. Medição das dimensões**

A medição das dimensões foi realizada conforme a ABNT NBR 14484:2000 – Papel e cartão – Tubetes – Medição das dimensões. O aparelho utilizado neste procedimento foi um paquímetro universal com resolução não inferior a 0,1mm. Para medir o diâmetro externo (Figura 30A), o paquímetro foi fechado na face externa do corpo de prova, sem causar

deformação na superfície. A medição foi realizada em três pontos, girando o corpo de prova em 120°, e realizada em ambas as extremidades.

O procedimento para a medição do diâmetro interno (Figura 30B) foi inserir o paquímetro no corpo de prova alinhando as faces da medição axial e radialmente, e realizar duas medições em cada extremidade, girando o corpo de prova em 90°, calculando então a média dos valores.

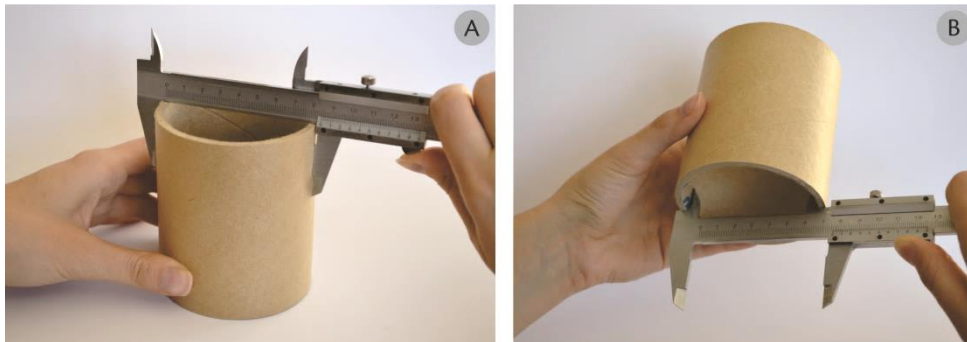


Figura 30 - Medição das dimensões de um corpo de prova. (A) Medição do diâmetro externo; (B) Medição do diâmetro interno.

### 3.2.3. Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

Para conhecer as características morfológicas da superfície interna, externa, do miolo e da borda do tubo de papelão, desenvolveu-se sua caracterização por microscopia eletrônica de varredura (MEV), método não destrutivo que permite visualizar a morfologia e a estrutura superficial dos materiais a partir de amostras sólidas.

O equipamento utilizado é da marca Hitachi® modelo TM 3000 e está localizado no Laboratório de Design e Seleção de Materiais (LdSM) - UFRGS. Foram obtidas imagens eletrônicas do tipo BSE (*backscattered electron* – elétrons retroespalhados). A aceleração do feixe de elétrons utilizada foi de 15 KeV, e o equipamento opera com aumentos de até 30.000 vezes.

### 3.2.4. Análise termogravimétrica (ATG)

O intuito deste ensaio é reconhecer a mudança de massa no material devido à interação com o aumento de temperatura, enquanto é submetido a uma programação controlada de temperatura. Conforme Canevarolo (2007) esta técnica possibilita conhecer



as alterações que o aquecimento pode provocar na massa das substâncias, o que permite estabelecer a faixa de temperatura em que começam a se decompor, acompanhar o andamento das reações de desidratação, oxidação, entre outras informações que podem ser obtidas. Identificou-se a temperatura de combustão do material, fornecendo dados sobre a necessidade de um estudo posterior sobre recobrimentos de proteção ao fogo.

A taxa de aquecimento utilizada foi de 5°C/min, em uma faixa de temperatura variando entre 25 e 400°C, em atmosfera de oxigênio a 99,9%. Utilizou-se o equipamento para análise termogravimétrica Mettler-Toledo®, modelo SDTA-TGA 851e, localizado no Laboratório de Materiais Cerâmicos – LACER/UFRGS.

### 3.2.5. Resistência à compressão axial

O objetivo do ensaio de compressão é comparar a resistência à compressão de vinte corpos de prova, de quatro espessuras distintas, de tubos de papelão secos e sem revestimento. Assim, pretende-se reconhecer o comportamento do material em aplicações onde a resistência é um requisito, de modo a assegurar boa precisão dimensional quando solicitado a esses esforços.

A compressão é um esforço axial aplicado de modo uniforme, com o sentido da força dirigido para o interior da peça, paralelamente à seção transversal do corpo de prova. Este ensaio foi guiado pela norma ABNT NBR ISO 11093-9:2009 - Papel e cartão – Ensaio de tubetes– Parte 9: Determinação da resistência ao esmagamento, que determina o comprimento de  $100 \pm 1,5$  mm em todos os pontos, para corpos de prova cortados de tubos com diâmetro interno nominal  $\leq 300$  mm.

O equipamento utilizado é a máquina de ensaios universal, marca EMIC® (Figura 31), com uma célula de carga de 200kN, onde os corpos de prova são posicionadas entre duas placas lisas (uma fixa e outra móvel) paralelas entre si e submetidos à força uniaxial. Os ensaios de compressão foram realizados no Núcleo Orientado para a Inovação da Edificação – NORIE/UFRGS.

O procedimento da norma descreve que o corpo de prova deve estar centralizado entre as duas placas, de maneira que seu eixo longitudinal esteja perpendicular a elas; o esmagamento deve ser realizado movendo, de modo uniforme, uma placa na direção da outra com uma velocidade relativa constante entre 55 e 65 mm/min, submetendo o corpo

de prova à carga até que o primeiro ponto máximo de resistência ao esmagamento seja notadamente ultrapassado.

### 3.2.6. Resistência à compressão diametral

Neste ensaio a força de compressão foi aplicada nos tubos posicionados paralelamente ao seu eixo. Utilizaram-se as diretrizes do ensaio anterior, guiando-se novamente pela ABNT NBR ISO 11093-9:2009 - Papel e cartão – Ensaio de tubetes– Parte 9: Determinação da resistência ao esmagamento. Também se realizou este ensaio no NORIE, na máquina de ensaios universal EMIC® 200kN (Figura 31).



Figura 31 - Máquina de ensaios universal localizada no NORIE/UFRGS

### 3.2.7. Flambagem

Visando reconhecer o comportamento dos tubos de papelão esbeltos e identificar com qual carga ocorre a flambagem, foram utilizados três corpos de prova de cada uma das quatro espessuras estudadas (3mm, 4mm, 5mm e 6,5mm) no comprimento padrão de 450mm – 5 vezes a medida do diâmetro externo dos tubos de 6,5mm de espessura de parede.

Este ensaio também foi realizado no NORIE, na máquina de ensaios universal EMIC® 200kN (Figura 31), utilizando-se as mesmas diretrizes do ensaio de compressão axial.

### 3.2.8. Absorção

O objetivo deste ensaio é analisar quantitativamente o porcentual de água absorvida em corpos de prova secos e sem revestimento, de modo a justificar a necessidade de estudos sobre a impermeabilização do material, e investigar o aumento da absorção em função do tempo.

As etapas do ensaio envolveram: secagem dos corpos de prova em estufa (Figura 32A) à temperatura de 105°C até atingirem massa constante (a norma que guiou a etapa de secagem é a ABNT NBR 14257:1998 – Papel e cartão – Tubetes – Determinação da umidade – Método por secagem em estufa); pesagem dos CPs em uma balança digital de precisão (Figura 32B) após o tempo de secagem; imersão dos mesmos em um recipiente com 6l de água à temperatura ambiente e posterior pesagem em períodos de tempo pré-determinados.



Figura 32 - (A) Corpos de prova dispostos na estufa para secagem; (B) Corpo de prova sendo pesado na balança digital de precisão.

A estufa utilizada é da marca De Leo, com controlador de temperatura de 50°C a 250°C, e a balança digital é da marca Quimis®, com capacidade total de 210g e resolução de 0,1mg, ambos equipamentos pertencentes ao LdSM/UFRGS.

### 3.2.9. Recobrimentos

#### 3.2.9.1. Ensaio de absorção

Complementando o estudo anterior, foram avaliados alguns materiais para recobrimentos no tubo de papelão, a fim de reconhecer aquele que se adeque ao objetivo de

reduzir a absorção de água. Após ensaios preliminares e estudo sobre impermeabilizantes para madeira e papel, definiram-se como recobrimentos a serem experimentados os seguintes:

- **Resina acrílica impermeabilizante multiuso à base de água, marca Hydronorth:** Pode ser aplicada em interiores e exteriores, em vários tipos de materiais. Composta por resina acrílica emulsionável, dióxido de titânio, espessantes, pigmentos orgânicos e inorgânicos, dispersantes e conservantes.
- **Termolina leitosa, marca Acrilex®:** verniz para impermeabilizar tecido, isopor, papel e outros materiais. Composta por copolímero vinílico, água e conservante.
- **Tinta acrílica à base de água, marca Coral:** Composta por resina acrílica modificada, pigmentos ativos e inertes, aditivos e água.
- **Tinta esmalte à base de água, marca Suvinil:** Indicado para proteger superfícies externas e internas de madeira, metais ferrosos, galvanizados, alumínio e PVC. Composta por resina acrílica modificada, pigmentos ativos e inertes, aditivos e água.
- **Verniz acrílico à base de água, marca Acrilex®:** indicado para dar acabamento em madeira, papel, cortiça, cerâmica, gesso, metal e isopor. Composto por resina de emulsão acrílica, água e conservantes.
- **Verniz marítimo à base de água, marca Sparlack®:** Verniz especialmente desenvolvido para uso interno e externo em superfícies de madeira. Produto à base de copolímeros acrílicos em emulsão, bactericida e fungicida não metálico, aditivos e água.

As informações sobre cada material foram obtidas diretamente em suas embalagens. A definição destes revestimentos deu-se pelos seguintes motivos: utilização de água como base da resina, estudo de materiais impermeabilizantes e facilidade de compra em estabelecimentos comerciais (nos segmentos de artesanato ou construção civil). Ressalta-se a utilização apenas de materiais sem substâncias tóxicas e metais pesados, solúveis em água e não-inflamáveis, respeitando as diretrizes de ecodesign.

Todos os materiais são de fábricas nacionais, e foram seguidas as recomendações de utilização dos fabricantes dos materiais aplicados – temperatura ideal e métodos de aplicação, tempo de espera entre demãos. Ensaíram-se sessenta e cinco corpos de prova; 10 para cada

material de revestimento (sendo cinco com duas demãos e os outros cinco com três demãos) e mais cinco corpos de prova sem revestimento.

Esperou-se os corpos de prova atingirem o estado de equilíbrio de umidade e massa constante previamente ao recobrimento, na atmosfera condicionadora de temperatura  $23\pm 1^{\circ}\text{C}$  e umidade relativa  $50\pm 2\%$ , conforme ABNT NBR 14102:2002 Papel e cartão – Tubetes– Condicionamento das amostras. Ao contrário do ensaio anterior de absorção, neste os corpos de prova não foram secos em estufa, com o intuito de recriar situações reais de utilização.

O recobrimento foi realizado com pincel de cerdas suaves, da marca Atlas, com largura de 25mm, ideal para pintura com vernizes (Figura 33), em uma capela de pintura localizada no LdSM/UFRGS. Segundo Nennewitz *et al.* (2008, p. 146), o processo de revestimento com pincel tem um grau de eficiência de aplicação de 98%, enquanto que a eficiência do método de pintura por imersão pode variar de 80 a 98%, não sendo indicado para peças com cavidades.



Figura 33 - Verniz sendo aplicado no tubo de papelão com o auxílio de um pincel de cerdas macias.

A temperatura no local e dia da aplicação era  $20\pm 3^{\circ}\text{C}$ , e a umidade relativa 60%. Após a aplicação, os corpos de prova foram mantidos novamente na atmosfera controlada anteriormente citada ( $23\pm 1^{\circ}\text{C}$  e  $50\pm 2\%$  de umidade relativa) por três dias, para secagem e cura total dos materiais de revestimento.

A fim de avaliar quantitativamente a eficácia de cada recobrimento, refez-se o ensaio de absorção por imersão com cada tipo de material, também no LdSM. Os resultados obtidos foram comparados entre si, juntamente com os corpos de prova sem acabamento, visando estabelecer em porcentual o aumento da impermeabilização. Para facilitar a visualização dos resultados, gerou-se um gráfico da variação de massa em função do tempo a partir da média dos valores reconhecidos, convertida em porcentagem para padronizar a massa inicial.

Uma amostra coberta com o material que obteve o melhor resultado no ensaio de absorção foi analisada no microscópio eletrônico de varredura, localizado no LdSM, para identificar de que forma o revestimento proporcionou a impermeabilização.

### 3.2.9.2. Determinação da aderência dos recobrimentos

De forma a reconhecer a resistência da aderência – medida para a resistência que um revestimento oferece contra sua separação mecânica do substrato, segundo Nennwitz *et al.* (2008, p. 147) – dos revestimentos testados, utilizaram-se como referência a norma brasileira ABNT NBR 11003:2009 – Tintas – Determinação da aderência e o teste de aderência previsto por Nennwitz *et al.* no Manual de Tecnologia da Madeira (2008, p. 147).

Dez corpos de prova, em (equilíbrio de umidade) foram revestidos com cinco tipos diferentes de materiais (termolina, verniz acrílico, verniz marítimo, tinta acrílica e tinta esmalte), em duas e três demãos, e esperou-se o tempo total de cura e secagem. Seguindo as referências, efetuaram-se cortes cruzados em ângulo reto (Figura 34A), de modo a alcançar o substrato: seis cortes de cerca de 25mm com 2mm de distância no sentido horizontal e seis cortes no sentido vertical, sobrepondo-se aos anteriores, formando uma grade de 25 quadrados (Figura 34B). Removeram-se os resíduos provenientes dos cortes e aplicou-se sobre a área quadriculada 100mm de fita adesiva de 25mm de largura, que foi alisada firmemente com uma borracha para obter-se uniformidade da adesão (Figura 34C).



Figura 34 - Procedimento para a determinação da aderência do revestimento. (A) Realização dos cortes com estilete; (B) Grade de cortes finalizada; (C) Aplicação da fita adesiva, sendo pressionada com uma borracha.

No intervalo de 1 a 2 min da aplicação da fita, esta foi removida de forma firme e contínua. Avaliou-se a área ensaiada quanto ao destacamento, logo após a remoção da fita.

Os ensaios de aderência foram todos realizados no mesmo dia, em ambiente controlado com temperatura de 25°C e umidade de 55%.

### 3.2.10. Corte a laser

A tecnologia de corte a laser é um processo de alta precisão, sendo atualmente utilizado em vários setores industriais. Para os ensaios de definição dos parâmetros de corte a laser, utilizou-se o equipamento Automatisa®, modelo Acrila (Figura 35A), que permite efetuar cortes a laser e gravações em diversos materiais, localizado na Oficina de Modelos, Protótipos e Maquetes da Faculdade de Arquitetura/UFRGS.

O equipamento realiza cortes em materiais com até 25mm de espessura, e esta altura é limitada por uma mesa de tampo metálico vazado em formato de colmeia. Como os tubos de papelão possuem um diâmetro externo médio de 85mm, foi necessário retirar o tampo e improvisar um “berço” para acomodar os tubos durante o corte (Figura 35B) e alcançar a medida de 5mm entre o bocal do feixe laser e a superfície a ser cortada, para atingir o foco ideal de corte.

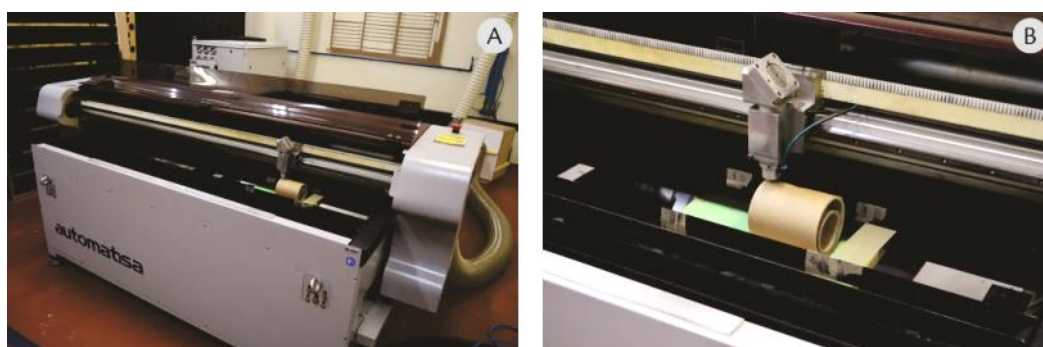


Figura 35 - (A) Equipamento de corte e gravação a laser, modelo Acrila, da Automatisa®; (B) Berço improvisado para acomodar o corpo de prova.

A potência máxima do equipamento laser utilizado é 200W. Os parâmetros passíveis de ajuste são: a potência do feixe de laser, a aceleração e a velocidade de movimentação do bocal de corte. Os ensaios foram realizados em corpos de prova de tubos de papelão de todas as espessuras estudadas (3mm, 4mm, 5mm e 6,5mm).

Realizaram-se inicialmente testes exploratórios, de forma a reconhecer a possibilidade de corte laser nos tubos de papelão e descobrir em qual faixa de velocidade e potência ele ocorria. Assim, de forma não criteriosa, testaram-se diferentes combinações de parâmetros de corte em corpos de prova de 100mm de comprimento, com o objetivo de identificar a viabilidade de corte a laser nos tubos de papelão – sem a preocupação, neste primeiro momento, de efetivamente reconhecer os parâmetros de corte.

Os resultados foram positivos: concluiu-se que os tubos de papelão podem ser cortados a laser, e também se reconheceu a necessidade de proteger a parte interna dos tubos, já que o feixe laser atravessa a superfície que está sendo cortada, causando marcas de queima.

Após este ensaio inicial, e com o intuito de reconhecer qual potência e velocidade de corte era mais eficaz para cada espessura de tubo de papelão, desenhou-se no software do equipamento laser um retângulo de 25mm de comprimento e 4mm de altura, e realizou-se este corte no material – um retângulo para cada variação de parâmetro testado.

Na definição dos parâmetros a serem ensaiados, buscou-se a pesquisa de Raseira (2013), que estudou o processo de corte a laser em diversas espécies de madeiras, alcançando o melhor resultado com a potência entre 66,5W e 70W. De forma a ter um estudo mais amplo e reconhecer outras possibilidades, iniciou-se fixando a potência mínima a ser trabalhada em 25% (50W), menor potência que efetuou o corte durante o ensaio exploratório; e como potência máxima 45% (90W), 20W a mais que a maior potência estudada por Raseira (2013). A variação entre as potências foi de 5 em 5% - ou seja, as potências utilizadas foram: 50, 60, 70, 80 e 90W. Dentro de cada potência fixa, variava-se a velocidade do corte, de 5mm/s até o limite onde o corte era realizado, também variando de 5 em 5mm/s.

Para analisar os cortes e as superfícies externa e interna, os tubos foram visualizados a olho nu, registrando-se os resultados por meio de fotografias, e os cortes realizados com a potência que apresentou maior eficiência (produziu cortes efetivos em velocidades mais altas) tiveram suas superfícies analisadas com o uso do microscópio estereoscópio (marca Olympus®, modelo SZX16), localizado no LdSM.

### **3.2.11. Métodos de união**

Sendo objetivo da dissertação estudar os tubos para aplicação no desenvolvimento de produtos, são necessárias maneiras de uniões entre o material (não foram testadas uniões entre os tubos e outros materiais), quando aplicado em diferentes posições ou com o uso de mais de uma peça. Assim, em caráter experimental, confeccionaram-se diferentes uniões dos tubos de papelão, balizados pelos critérios de ecodesign e pelas possibilidades que o material oferece.



Para guiar o estudo das uniões nos tubos de papelão, buscou-se referencial bibliográfico sobre as uniões feitas para a construção com bambu – devido à similaridade da forma cilíndrica –, já que não se reconheceram bibliografias específicas para tubos de papelão. Utilizou-se como principal referência o *Manual de construcción com bambú*, de 1981, de Oscar Hidalgo López, a publicação mais citada nos estudos sobre este material.

Assim, a Figura 36 apresenta cortes frequentemente utilizados em peças de bambu (necessários para a construção de alguns tipos de uniões) e a Figura 37 expõe algumas destas uniões, a serem realizadas nos tubos de papelão.

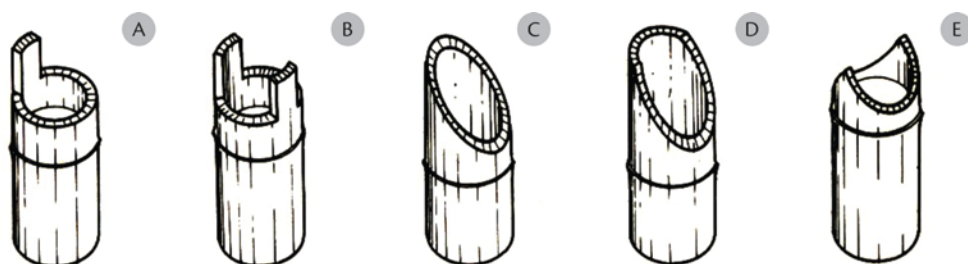


Figura 36 - Cortes utilizados em uniões de peças de bambu. (A) com orelha; (B) com duas orelhas; (C) bisel; (D) bico de flauta; (E) boca de peixe. Fonte: López (1981, p. 13).

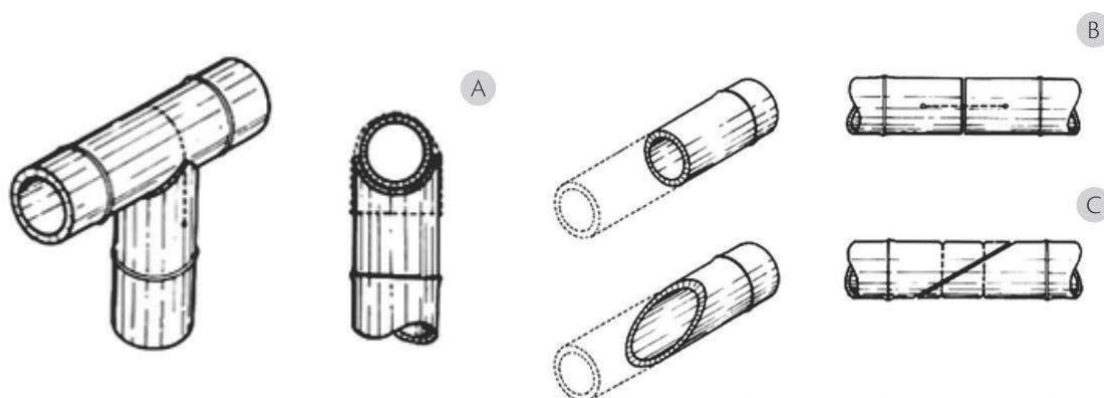


Figura 37 - Uniões realizadas no bambu. (A) União perpendicular boca de peixe; (B) União paralela de topo; (C) União paralela em bisel. Fonte: López (1981, p. 14-18).

Como elementos de ligação, buscaram-se peças facilmente encontradas em lojas de ferragens, e descartou-se a possibilidade de construção de peças específicas. Outra opção rejeitada foi o uso de cordas, pois a firmeza da união dependeria da habilidade de quem estivesse fazendo a amarração.

Assim, utilizaram-se abraçadeiras de poliamida que, quando tensionadas, travam por pressão. Geralmente utilizadas para amarração e fixação de fios, cabos ou banners, este produto

é encontrado em diversos comprimentos, larguras e cores; neste trabalho, foram usadas abraçadeiras de dois tamanhos: 100mm X 2,5mm e 400mm X 4,8mm.

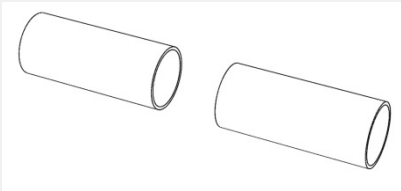
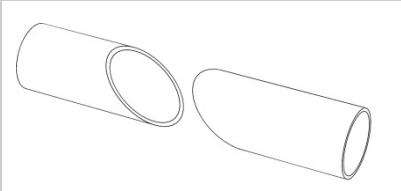
Além disto, fizeram-se uniões utilizando colagem, sem elementos de outros materiais. Apesar de ser uma união permanente e não facilitar a desmontagem e a separação, a colagem entre o mesmo material (sem elementos tóxicos ou nocivos) não impede a reciclagem, os números de fixações são minimizados e não há mix de materiais. Como afirmam Manzini e Vezzoli (2002, p. 259), sistemas permanentes de junções podem resultar eficazes se os materiais forem compatíveis. Com isso, conclui-se que neste caso, a colagem não é contra as diretrizes de ecodesign. A cola utilizada é a PVA à base de água.


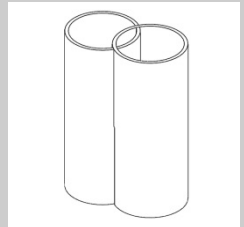

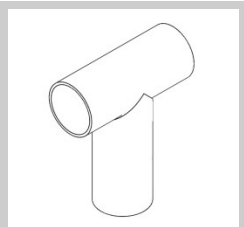
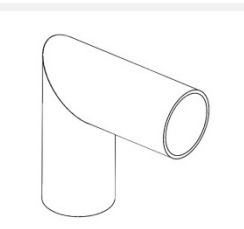
Outro método de união testado, sem elementos auxiliares e sem colagem permanente, foi o encaixe em “colméia” entre duas peças.

Foram realizados três tipos de cortes nos tubos de papelão: cortes retos, corte em bisel e corte boca de peixe, feitos na serra circular de esquadria modelo LS1040, da Makita®; potência de 1650W e 4600 rpm, equipada com disco de corte com lâmina de wídea de 32 dentes. Nas uniões feitas com as abraçadeiras, realizaram-se furos com a micro retífica Dremel®, modelo 300, equipada com uma broca de 3mm. Nos encaixes, realizaram-se segmentos de corte até a metade dos tubos, com uma serra tico-tico manual da marca Black&Decker®, de 450W de potência.

Confeccionaram-se sete tipos de uniões, sendo que cinco delas foram produzidas utilizando-se colagem e abraçadeira, totalizando 12 maneiras de uniões testadas - nomeadas no Quadro 3 a seguir, ao lado de uma imagem representativa que visa facilitar o entendimento sobre a forma de junção.

Quadro 3 - Métodos de união confeccionados nos tubos de papelão.

Tipos de uniões	Imagem representativa
Paralela de topo (colada e com abraçadeira)	
Paralela em bisel (colada e com abraçadeira)	

Paralela em dupla (colada e com abraçadeira)	
Encaixada em colmeia	
Paralela em trio (abraçadeira)	
Perpendicular boca de peixe (colada e com abraçadeira)	
Quina em ângulo de 45° (colada e com abraçadeira)	

A avaliação dos métodos de união experimentados deu-se de forma qualitativa, retomando-se os critérios de ecodesign anteriormente apresentados.



## Capítulo 4

# RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo destina-se a apresentar os resultados obtidos no panorama do descarte, na caracterização do material através da microscopia eletrônica de varredura e da análise termogravimétrica, nos ensaios de resistência à compressão axial, diametral, flambagem, de absorção de água, nos testes de recobrimentos, de corte a laser e nos experimentos em relação aos métodos de união.

### 4.1. PANORAMA DO DESCARTE

No segmento de confecção e têxtil, os tubos de papelão são utilizados como suporte ao enrolamento dos tecidos. A seguir (Quadro 4), são apresentadas as indústrias de confecção visitadas, quais suas práticas implementadas para a gestão e descarte de resíduos sólidos e qual a média mensal e o destino recorrente dos tubos descartados.

Quadro 4 - Indústrias do segmento de confecção visitadas.

Nome da empresa	Práticas para gestão e descarte dos resíduos sólidos	Média mensal de tubos de papelão descartados	Destino recorrente dos tubos descartados
Baduchi Indústria e Comércio de Confecções Ltda.	Separação dos resíduos	600 unidades	Doado para empresa que vende materiais recicláveis
Banco Têxtil	Separação dos resíduos	220 kg (50% é reutilizado internamente)	50% é reutilizado internamente e 50% (em mau estado) é coletado por catadores
Griff Line	Separação dos resíduos	40 unidades	Doados para catadores
lafa Confecções	Separação dos resíduos	400 unidades	Doados para catadores
Maxi Têxtil	Separação dos resíduos	220 kg	Doados para catadores
Willrich Indústria e Comércio Têxtil Ltda.	Separação dos resíduos	180 a 200kg	Vendidos para reciclagem por R\$0,14/kg.

Dentre as considerações gerais sobre o uso e descarte de tubos de papelão nas indústrias visitadas, pode-se afirmar que o padrão de diâmetro dos tubos é igual ou menor a 5cm, e o

comprimento varia entre 90cm e 1,65m. Devido ao peso do tecido, à rapidez em que acontece o desenrolamento e a pequena espessura de parede dos tubos (entre 1,5 e 3,5mm), os tubos normalmente quebram, amassam ou descolam suas camadas.

Assim, apesar de a quantidade de geração justificar a reutilização, o estado no qual os tubos encontram-se não a favorece. Também teve relevância o fato de que em duas empresas contatadas, diagnosticou-se que os tubos poliméricos (de polietileno, polipropileno e poliestireno) estão entrando no mercado. Na Baduchi, dos 400 tubos descartados diariamente, 30 são de papelão enquanto que os 370 restantes são de polímero.

Neste segmento gráfico/comunicação visual, os tubos de papelão são utilizados como base ao enrolamento dos materiais a serem impressos (vinil, lona, papel fotográfico) ou como embalagem de proteção a esses papéis, no caso de tubos de maior diâmetro.

Em Porto Alegre, são contabilizadas 170 empresas na categoria indústria gráfica (atuam nas áreas de pré-impressão, impressão ou pós-impressão) cadastradas no Sindigraf/RS – Sindicato da Indústria Gráfica no Rio Grande do Sul (SINDIGRAF, 2013). O Quadro 5 apresenta alguns dos dados coletados.

Quadro 5 - Indústrias do segmento gráfico/comunicação visual visitadas.

<b>Nome da empresa</b>	<b>Práticas para gestão e descarte dos resíduos sólidos</b>	<b>Quantidade mensal de tubos de papelão descartados</b>	<b>Destino recorrente dos tubos descartados</b>
Gráfica da UFRGS	Doação das aparas para a Associação dos Trabalhadores da Unidade de Triagem do Hospital Psiquiátrico São Pedro; os resíduos químicos originados pelos processos de impressão são encaminhados ao Centro de Gestão e Tratamento de Resíduos Químicos da UFRGS.	20 unidades	Doados para associação de triagem
Grupo Silk Comunicação Visual	Separação dos resíduos, parceria com empresa que coleta material reciclável.	50-150 unidades	Doados para empresa de venda de material reciclável
Krim Bureau Brasil Comunicação Visual	Existência da Eco Krim, empresa que tem a visão de reutilizar e reciclar tudo que for possível.	100-500 unidades	Reutilizados internamente; quando há quantidade excessiva, são vendidos para a reciclagem pela própria empresa, por R\$0,20/kg
OBM Comunicação Visual	Parceria com empresa que coleta material reciclável	50 unidades	Doados para catadores
RTM Digital Comunicação Visual	Separação dos resíduos	50 unidades	Doados para catadores
Signs Up Comunicação Visual	Parceria com empresa que coleta material polimérico reciclável; coleta do resíduo da tinta por empresa especializada.	50 – 100 unidades	Doados para catadores

Percebeu-se, de maneira geral, que os tubos descartados pelos setor gráfico (de comunicação visual) são mais resistentes e encontram-se em melhor estado que os do segmento de confecção. Além disso, há uma maior padronização nas medidas (a maioria das empresas descarta tubos com diâmetro interno de 76,2mm), e o comprimento varia de 1,20m a 3,20m, dependendo da largura do material que está enrolado. As informações obtidas são confirmadas pelo setor de vendas da fabricante de tubos Tubospel, que afirma que a venda de tubos no padrão de 76,2mm de diâmetro interno (3 polegadas) está em crescente aumento e é o padrão comprado por diversos clientes.

Na maioria das empresas, de ambos os setores, os tubos são armazenados dentro dos pavilhões de trabalho. Em algumas, ficam estocados entre 2 a 3 meses, até juntar quantidade suficiente para serem coletados por associações de triagem ou empresas de venda de materiais recicláveis (2 empresas); em outras, o tempo é 15 dias (3 empresas) e em uma ele é descartado semanalmente ou até diariamente. Algumas empresas consideram esta perda de espaço no armazenamento um prejuízo, já que o espaço poderia ser utilizado para outro fim. Em 90% das empresas visitadas, constatou-se o interesse por buscar um destino mais adequado e proveitoso para os tubos de papelão.

Com o objetivo de comparar os destinos usuais dos tubos descartados, elaborou-se um gráfico (Figura 38) unindo os dados dos setores de confecção e gráfico. Observa-se que os tubos têm três destinos principais: são recolhidos por catadores/papeleiros (seis empresas, correspondendo a 50%); doados para empresas de triagem de materiais recicláveis (duas empresas) ou vendidos diretamente para reciclagem (apenas uma empresa).

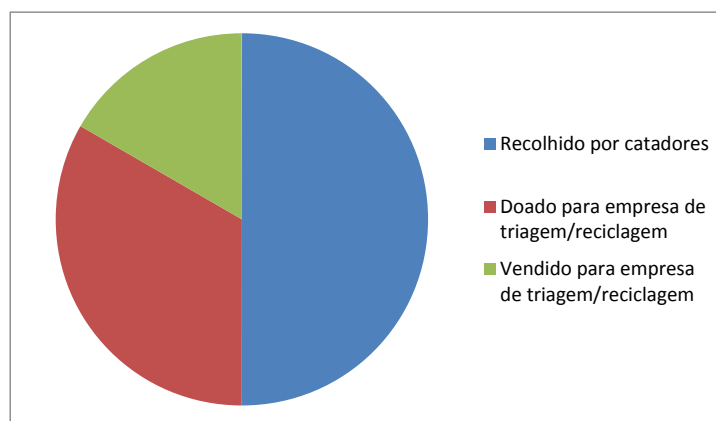


Figura 38 - Destino usual dos tubos de papelão descartados.

Retomando os critérios decisórios na definição do tubo a ser estudado (quantidade, aparência e integridade do material no momento do descarte e condições de armazenamento) definiu-se que o tubo a ser estudado nesta dissertação é o de diâmetro interno 76,2mm, produzido pelas indústrias do segmento gráfico/comunicação visual. Além de ser o padrão gerado em maior quantidade pelas

empresas visitadas – reconhecido em seis estabelecimentos –, como pode-se ver na Figura 39, considerou-se o fato de serem materiais mais resistentes e menos suscetíveis ao esmagamento.

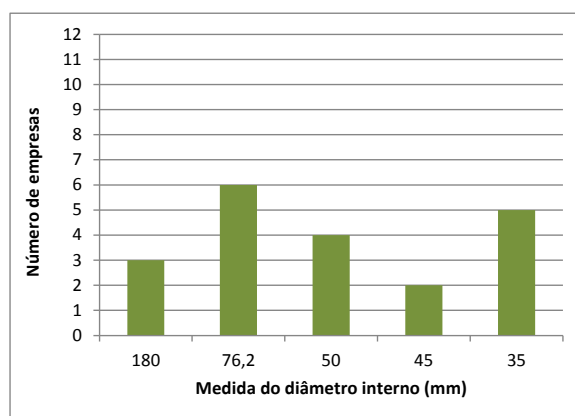


Figura 39 - Gráfico representativo do número de empresas e diâmetro interno dos tubos descartados.

A empresa que se mostrou mais disposta e interessada em contribuir com o trabalho de dissertação foi a Signs Up Comunicação Visual, que armazenou os tubos descartados pelo período necessário até se atingir a quantidade de materiais para o estudo. Com a definição do padrão de tubo a ser estudado, passa-se à caracterização do material e à realização dos ensaios técnicos.

#### 4.2. MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV)

Analisou-se uma amostra de 10mmX10mm, retirada da borda de tubos de papelão com 76,2mm de diâmetro interno e 5mm de espessura de parede. Visualizou-se a superfície externa do material, a superfície interna, o miolo – observado pelo destacamento de uma camada da amostra – e a borda, como está representado na Figura 40.

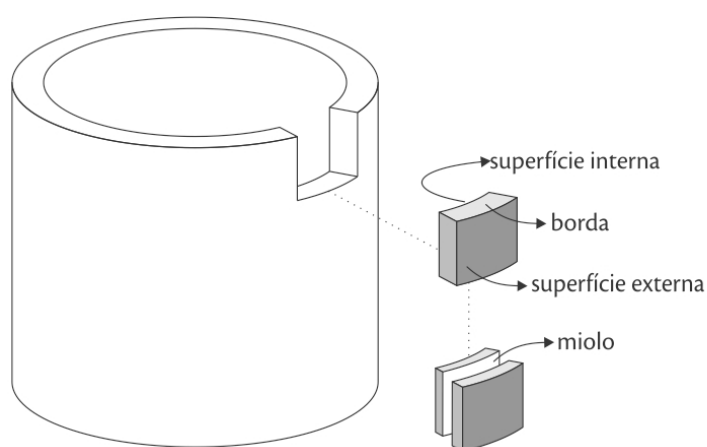


Figura 40 - Representação gráfica do local de onde foi retirada a amostra e indicação de cada superfície que foi analisada por microscopia eletrônica de varredura.



Analisando-se as imagens obtidas, concluiu-se que a superfície externa (Figura 41A) do tubo apresenta homogeneidade em sua estrutura, com as fibras longas e aparentemente bem assentadas e compactadas, já que não se percebem diferenças de profundidade. Como se sabe pela visita à fábrica dos tubos de papelão, o papel da superfície externa possui menor porcentual de fibra reciclada.

Conforme se integram materiais provenientes de reciclagem e aumenta-se o porcentual de fibra reciclada contida no papel, perde-se a homogeneidade e visualiza-se uma maior quantidade de impurezas e incrustações de outros materiais – características aparentes na microscopia das superfícies interna (Figura 41B) e do miolo (Figura 41C), que apresentam ainda heterogeneidade no comprimento e largura das fibras.

A imagem da borda (Figura 41D) mostra as fibras cortadas em uma vista de topo (o corte foi realizado com serra circular).

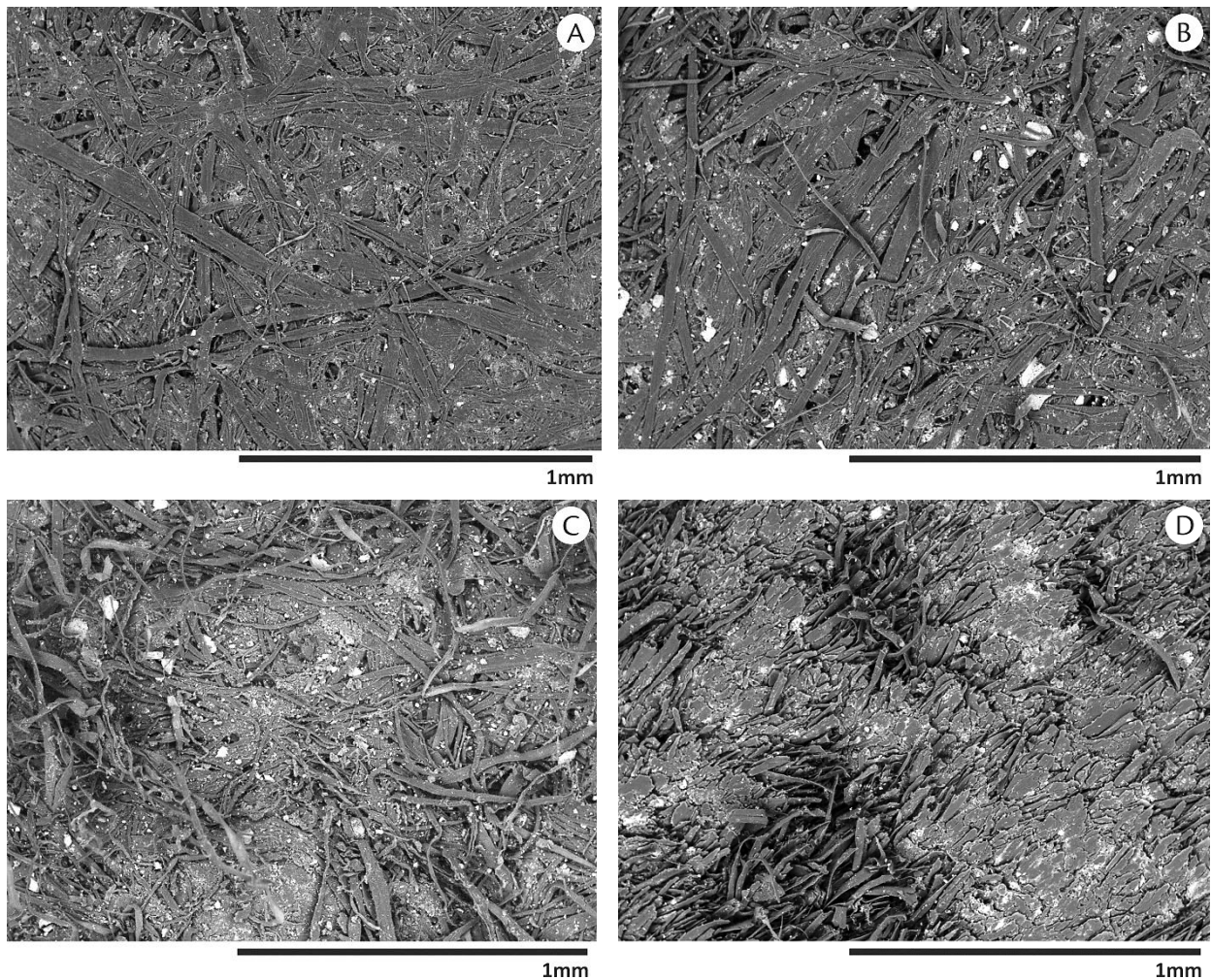


Figura 41 - Microscopia eletrônica de varredura da superfície de um tubo de papelão de 5mm de espessura. (A) Superfície externa; (B) Superfície interna; (C) Miolo; (D)Borda.

A morfologia reconhecida corrobora com os dados sobre a utilização de diferentes tipos de papel kraft na fabricação dos tubos de papelão, fator que pode influenciar em algumas características do material. Como afirmam Cardoso *et al.* (2012, p. 404) as fibras recicladas, chamadas de secundárias, perdem ligações entre fibras pois durante o processo de reciclagem uma grande porcentagem delas é quebrada.

### 4.3. ANÁLISE TERMOGRAVIMÉTRICA (ATG)

A curva termogravimétrica traça o peso *versus* a temperatura ou o tempo; a seguir, a curva TG do tubo de papelão (Figura 42). O patamar inicial (ponto a) refere-se à temperatura ambiente de 25°C, onde a massa da amostra está em 100%. Com o acréscimo da temperatura, percebe-se o momento inicial da perda de massa, que se estende até um pouco além de 100°C (ponto b); associam-se estes valores à evaporação da água (desidratação e secagem do material), causando uma perda de massa de cerca de 7% - taxa de umidade incorporada nos tubos, reconhecida na literatura entre 6 e 9%.

O segundo momento de perda de massa (ponto c) inicia em 210°C, o que pode ser atribuído à degradação da resina que une as camadas de papel kraft. Entretanto, a perda significativa de massa ocorre a partir dos 255°C (ponto d), iniciando o processo de decomposição térmica, que interrompe bruscamente nos 310°C.

A partir dos 310°C (ponto e), percebe-se a estabilização da perda de massa e o término da decomposição térmica, sendo o patamar final do ensaio. No degrau entre o ponto d e o ponto e, que corresponde à diferença entre as temperaturas 255°C e 315°C, a variação de massa da amostra foi cerca de 60%. Assim, reconhece-se esta faixa como sendo a temperatura de combustão do material. Ao final do ensaio, a massa da amostra é de somente 12%.

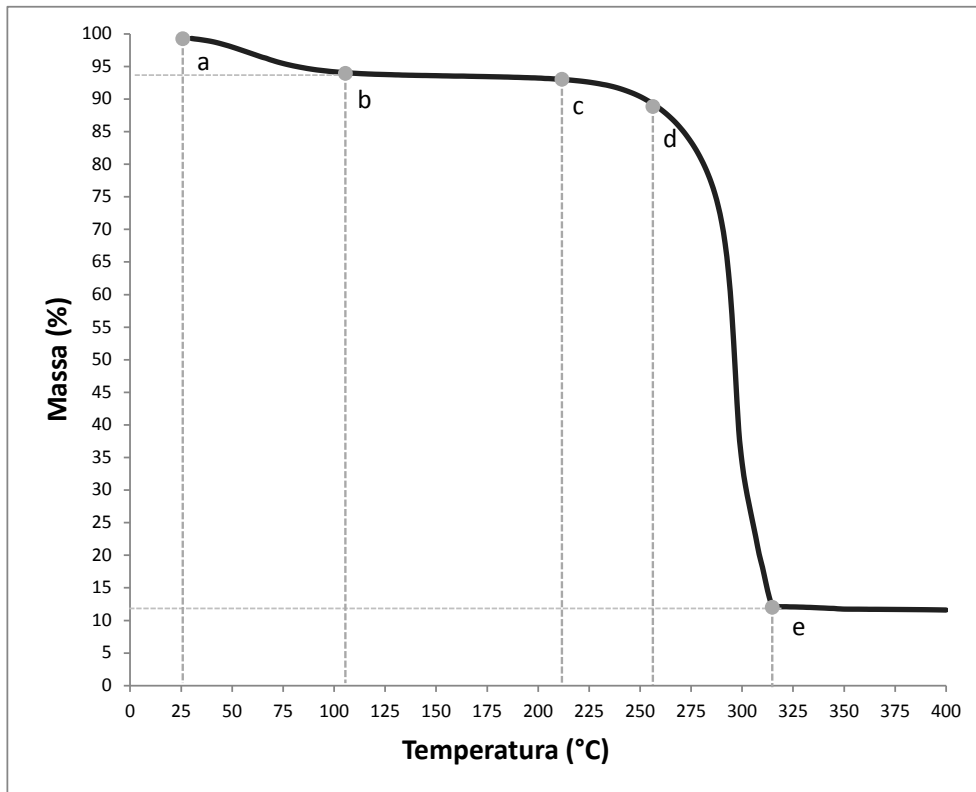


Figura 42 - Curva termogravimétrica do tubo de papelão em atmosfera de oxigênio.

A temperatura de combustão do material indica que até os 210°C existe uma faixa de segurança na sua utilização, aspecto positivo para a aplicação dos tubos no design de produtos. Além disso, o resultado de somente uma curva significativa de perda de massa reflete a existência de apenas um material na composição do tubo de papelão, neste caso a celulose.

#### 4.4. RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL

Os corpos de prova foram posicionados entre as placas de pressão, de maneira que seu eixo longitudinal estivesse perpendicular às placas (Figura 43). Foram utilizados cinco corpos de prova de cada espessura estudada (3, 4, 5 e 6,5mm), com 100mm de comprimento, totalizando 20 CPs.



Figura 43 - Corpo de prova sendo submetido ao ensaio de compressão axial.

Através dos resultados, geraram-se gráficos e tabelas, onde são apresentados os valores de máxima força e tensão de cada um dos corpos de prova. Em todos os gráficos, padronizou-se o valor máximo de força em 12000N, para que fosse possível comparar as curvas geradas.

No gráfico a seguir (Figura 44) pode-se ver as curvas tensão X deslocamento dos cinco corpo de provas de 3mm de espessura. Percebe-se que o comportamento apresentado pelo grupo foi semelhante: a máxima força suportada ficou próxima à faixa dos 4000N, e o deslocamento máximo foi cerca de 2,5mm, ocorrendo pouco amassamento.

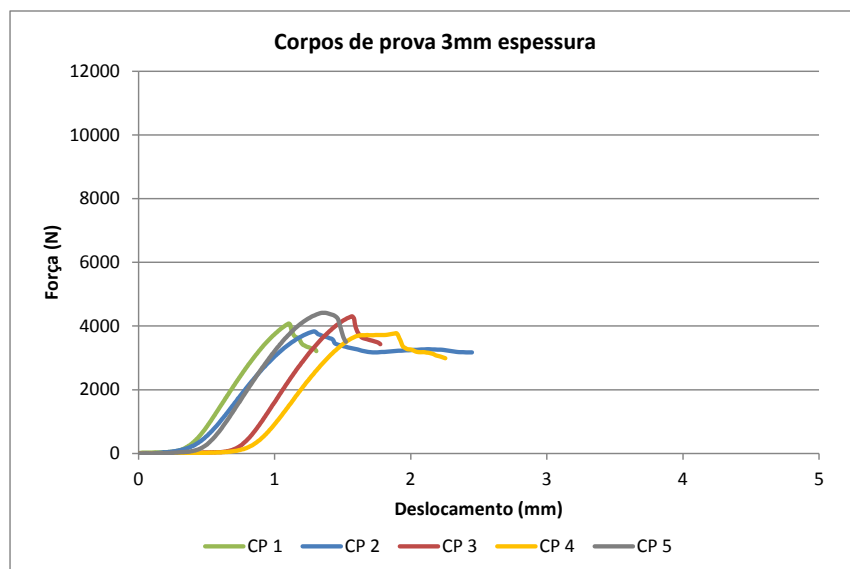


Figura 44 - Resultados do ensaio de compressão axial – CPs 3mm espessura.

Através da leitura dos dados da Tabela 2, pode-se concluir que a carga média suportada pelos tubos de espessura de parede 3mm é 415,66 kgf, resultado satisfatório considerando-se a pouca espessura e leveza (cerca de 45,31g) dos corpos de prova.

Tabela 2 - Resultados do ensaio de compressão axial – CPs 3mm espessura.

Corpo de prova	1	2	3	4	5	Média
Massa (g)	45,19	44,34	44,89	47,07	45,09	45,31
Máxima força (N)	4078,9	3829,3	4302,3	3770,2	4400,8	4076,3
Máxima carga (kgf)	415,93	390,47	438,71	384,45	448,75	415,66
Máximo deslocamento (mm)	1,30	2,45	1,78	2,25	1,52	1,86

Na sequência, a Figura 45 compara a aparência dos corpos de prova antes (A) e após (B) o ensaio de compressão axial. Percebem-se apenas algumas ondulações no sentido de enrolamento das faixas de kraft, sem amassamentos salientes.

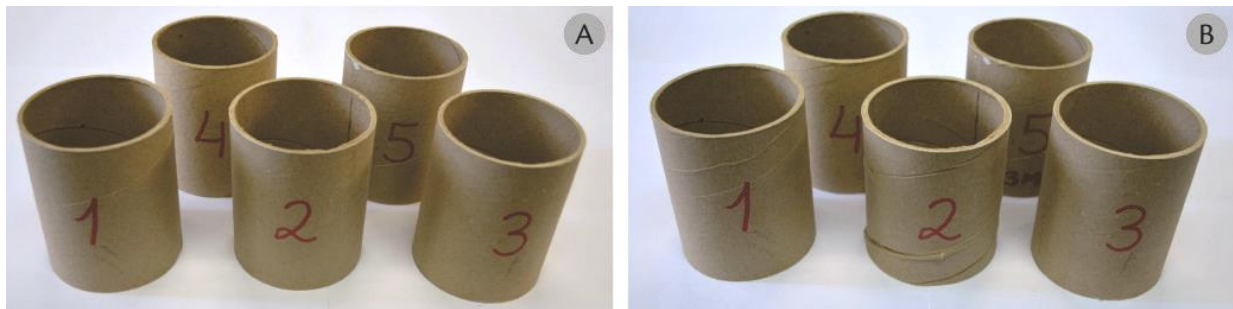


Figura 45 - Comparação entre os corpos de prova 3mm de espessura.  
(A) Antes do ensaio; (B) Após o ensaio de compressão axial.

O segundo ensaio foi realizado com o grupo de corpos de prova de 4mm de espessura de parede. A visualização das curvas do gráfico (Figura 46) comprova que os corpos de prova também tiveram um comportamento similar, com pouca variação na força máxima suportada, que ficou na faixa dos 5000N.

Em relação ao deslocamento, neste grupo ele foi mais evidente: com exceção do corpo de prova número 4, que rompeu com 2mm de compressão, os outros corpos de prova deformaram entre 10 e 20mm até a interrupção da força de compressão.

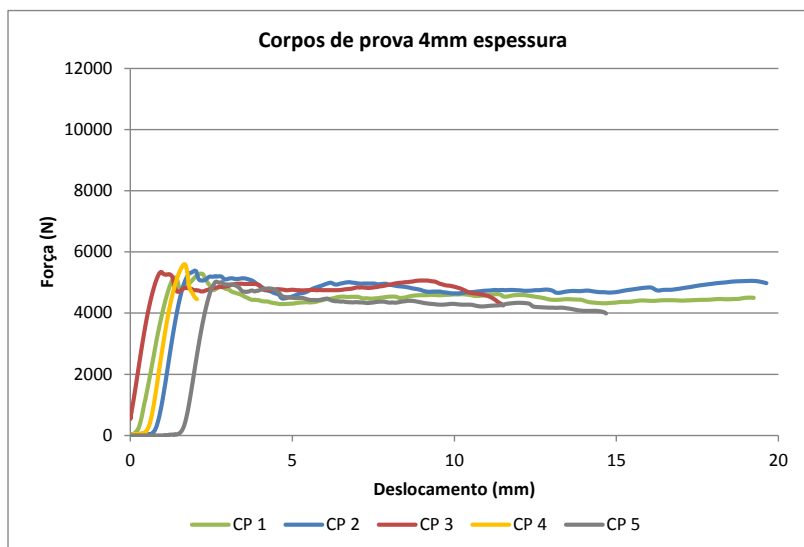


Figura 46 - Resultados do ensaio de compressão axial – CPs 4mm espessura.

A Tabela 3 a seguir exhibe os dados de máxima força, carga e deslocamento apresentados pelos corpos de prova de 4mm de espessura. A média carga máxima suportada foi 550,33 kgf, 134,67 kgf a mais do que a média das cargas máximas dos corpos de prova de 3mm de espessura.

Tabela 3 - Resultados do ensaio de compressão axial – CPs 4mm espessura.

Corpo de prova	1	2	3	4	5	Média
Massa (g)	66,25	66,30	66,48	66,68	66,59	66,46
Máxima força (N)	5287,5	5386	5340,1	5596,2	5024,8	5396,92
Máxima carga (kgf)	539,17	549,21	544,53	570,65	512,38	550,33
Máximo deslocamento (mm)	19,24	19,63	11,51	2,05	14,68	13,42

Nestes tubos, a deformação ocorrida foi mais visível que nos anteriores: podem-se ver amassamentos, aumento da espessura da borda, ondulações e relevos no interior e exterior dos corpos de prova (Figura 47).

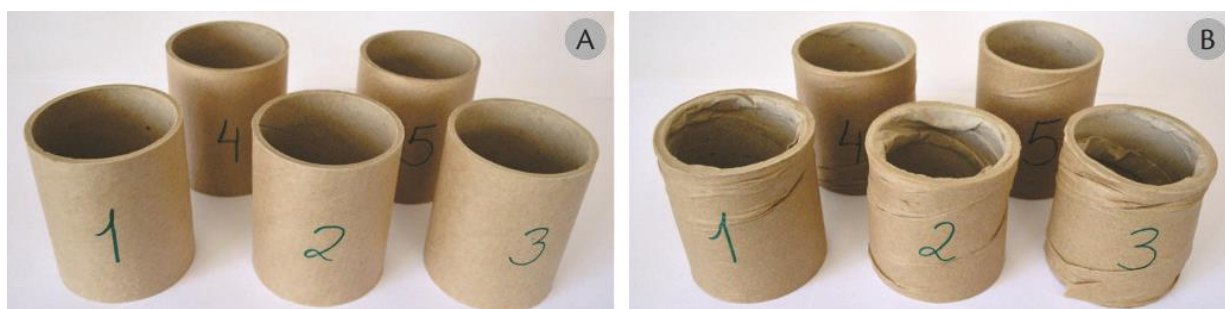


Figura 47 - Comparação entre os corpos de prova 4mm de espessura.  
(A) Antes do ensaio; (B) Após o ensaio de compressão axial.

Na sequência, realizaram-se os ensaios de compressão com os corpos de prova de 5mm de espessura de parede. O ponto máximo de força foi semelhante em todo o grupo, em uma média de 8500N. O deslocamento também mostrou um padrão, com exceção do CP 2, que apresentou ruptura com 1,95mm.

As curvas força *versus* deslocamento (Figura 48) apresentam uma sequência nítida de perda e ganho de resistência: percebe-se uma queda na força suportada, que após alguns milímetros de deformação volta a aumentar. Concluiu-se que a perda acontecia devido aos espaços e falhas entre as emendas das faixas de kraft; quando esta emenda era amassada formando uma ondulação, consequentemente os CPs voltavam a ganhar resistência e suportar mais força.

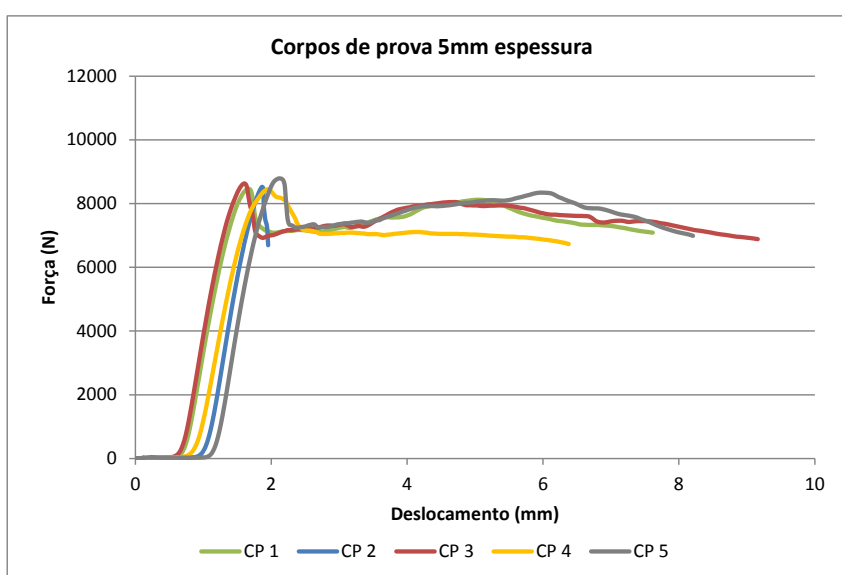


Figura 48 - Resultados do ensaio de compressão axial – CPs 5mm espessura.

Na Tabela 4 são expostos com mais precisão os valores de força e deslocamento. A máxima carga média suportada foi quase 874kgf, 323,6kgf a mais que os tubos de 4mm de espessura e 458,27kgf superior à máxima carga média suportada pelos tubos de 3mm de espessura. A relação massa X carga mostra que são suportados quase 10kgf por grama.

Tabela 4 - Resultados do ensaio de compressão axial – CPs 5mm espessura.

Corpo de prova	1	2	3	4	5	Média
Massa (g)	88,63	85,13	88,92	91,24	89,23	88,63
Máxima força (N)	8460	8525,7	8630,8	8446,9	8788,4	8570,36
Máxima carga (kgf)	862,67	869,37	880,09	861,34	896,16	873,93
Máximo deslocamento (mm)	7,62	1,95	9,16	6,38	8,21	6,66

Pela observação visual e tátil dos corpos de prova após a compressão (Figura 49) nota-se que o CP 2 não apresentou a mesma deformação que os outros corpos de prova, que tiveram ondulações nas superfícies interna e externa, amassamento e aumento da espessura das bordas em contato com as placas de pressão; sua ruptura foi mais rápida, sem regiões amassadas nem aumento da espessura das bordas, devido à existência de falhas entre as emendas de papel kraft.

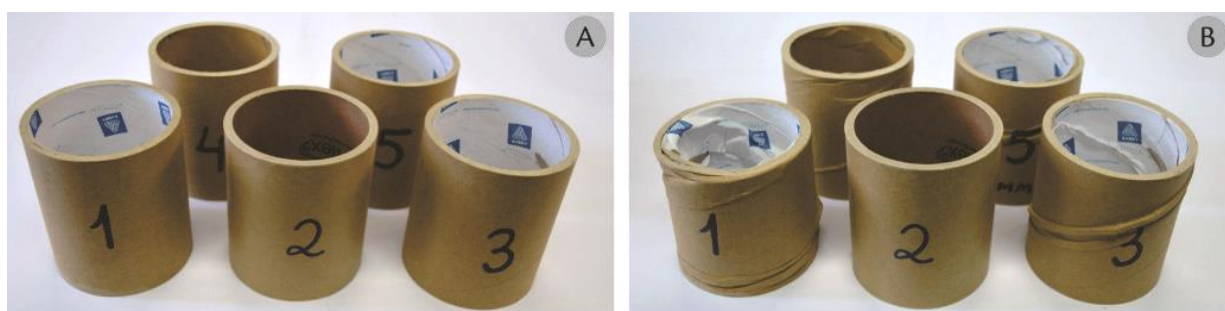


Figura 49 - Comparação entre os corpos de prova de 5mm espessura.  
(A) Antes do ensaio; (B) Após o ensaio de compressão axial.

O último grupo de corpos de prova a ser ensaiado foi o de 6,5mm de espessura de parede. Este grupo foi o que apresentou resultados mais heterogêneos de máxima força, com valores variando entre 9432,1N e 12979N, porém com semelhança em relação ao deslocamento. Da mesma forma que o grupo de 5mm de espessura, este também teve uma sequência de perda e aumento da resistência, demonstrada por todos os CPs (Figura 50).

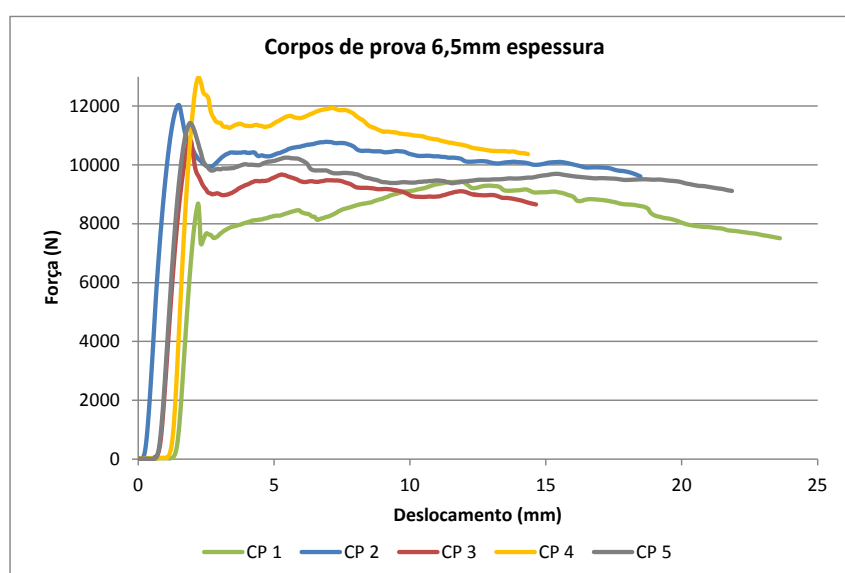


Figura 50 - Resultados do ensaio de compressão axial – CPs 6,5mm espessura.



A média da força máxima suportada foi 11109,66N, ultrapassando uma tonelada de carga (1132,87kgf). Comparando-se com os resultados apresentados pelos grupos anteriores, houve um acréscimo de 717,21kgf em relação aos tubos de 3mm de espessura, 582,54kgf a mais que os corpos de prova de 4mm e 258,94kgf superior ao grupo de 5mm de espessura.

Tabela 5 - Resultados do ensaio de compressão axial – CPs 6,5mm espessura.

Corpo de prova	1	2	3	4	5	Média
Massa (g)	122,05	122,44	112,89	124,42	123,01	120,96
Máxima força (N)	9432,1	12040	9675,2	12979	11422	11109,66
Máxima carga (kgf)	961,80	1227,73	986,59	1323,49	1164,72	1132,87
Máximo deslocamento (mm)	23,61	18,48	14,64	14,35	21,85	18,58

Nas imagens comparativas abaixo (Figura 51) pode-se visualizar que estes foram os corpos de prova que apresentaram mais deformação.

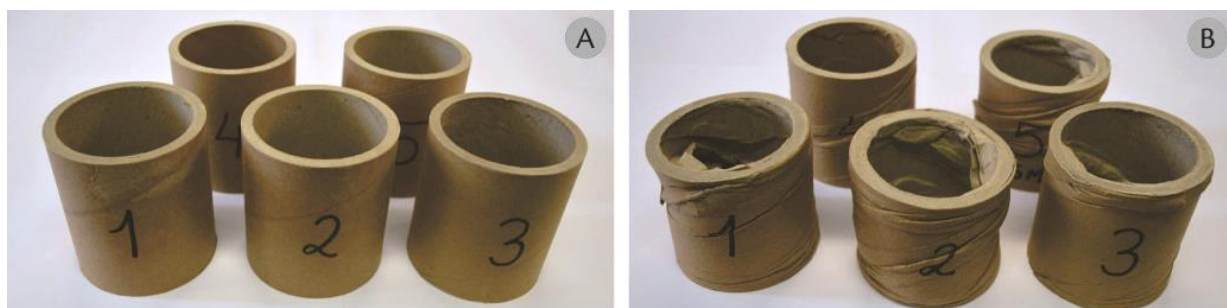


Figura 51 - Comparação entre os corpos de prova de 6,5mm espessura.  
(A) Antes do ensaio; (B) Após o ensaio de compressão axial.

Pela observação visual e tátil dos corpos de prova das quatro espessuras após o ensaio, pode-se perceber que apresentaram esmagamento das bordas, em alguns casos com aumento de espessura; também surgiram ondulações tanto na face externa quanto na interna, causando deformações com dobras bastante aparentes, no sentido de enrolamento das faixas de papel kraft (especificamente nas emendas). Algumas vezes, apesar de não evidentes na face externa, as deformações eram visíveis na superfície interna dos tubos (Figura 52).

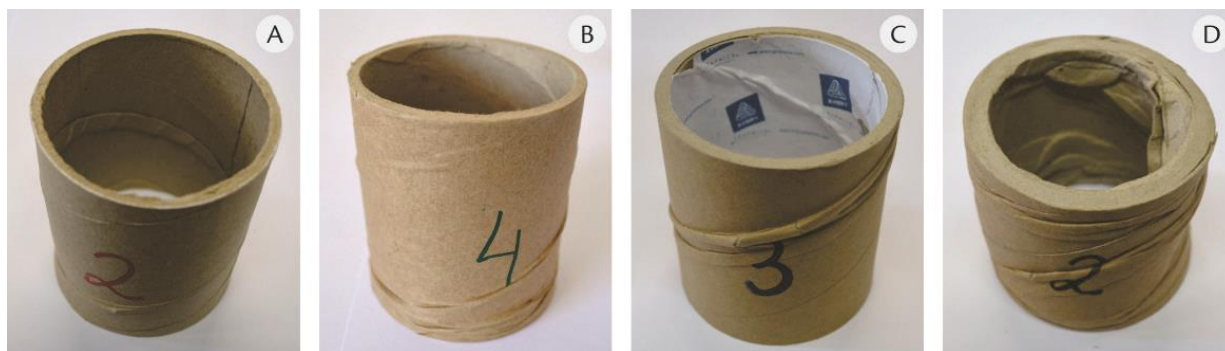


Figura 52 - Deformações nos corpos de prova após os ensaios de compressão axial. (A) Ondulações e dobras na superfície interna, na emenda de papel kraft; (B) Amassamento na superfície externa; (C) Dobra saliente na face externa, no sentido de enrolamento das faixas; (D) Esmagamento da borda superior, com aumento da espessura da borda, e ondulações nas superfícies interna e externa.

Pelos resultados do ensaio de compressão axial, conjugados com as informações obtidas durante a visita à indústria fabricante de tubos, chegou-se a uma lista de fatores que podem influenciar na resistência dos tubos de papelão: espessura da parede, já que os tubos mais espessos suportaram uma força de compressão maior; existência de falhas entre as emendas de papel kraft; tipo e eficiência da cola utilizada; e talvez o mais influente, qualidade e gramatura do papel – um tubo fabricado integralmente com *kraft liner* certamente apresentaria propriedades mecânicas superiores aos que recebem esta camada somente como acabamento.

Este fator é confirmado por Cardoso *et al.* (2012) no estudo sobre papéis reciclados utilizados para a fabricação de tubetes: conforme os autores, os melhores resultados de resistências físicas e mecânicas foram atribuídas ao papel com menor porcentual de fibra reciclada, devido à maior rigidez, maior número de ligações entre as fibras e maior força entre essas ligações, formando um papel com melhor conformabilidade da rede fibrosa.

#### 4.5. RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DIAMETRAL

Neste ensaio, os corpos de prova foram posicionados entre as placas de pressão, de maneira que seu eixo longitudinal estivesse paralelo às placas (Figura 53). Foram utilizados cinco corpos de prova de cada espessura estudada, totalizando novamente 20 corpos de prova.

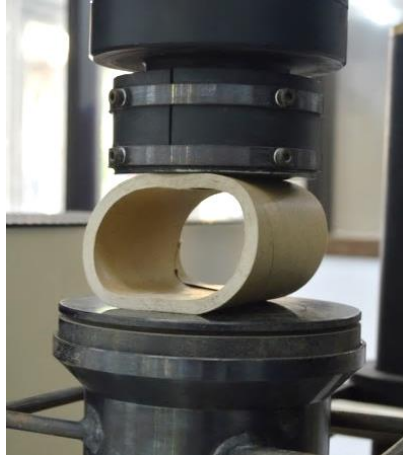


Figura 53 - Corpo de prova sendo submetido ao ensaio de compressão diametral.

A seguir, apresentam-se os gráficos e tabelas gerados a partir dos resultados dos ensaios. Padronizou-se o valor máximo de força nos gráficos em 800N, para que fosse possível comparar as curvas geradas.

No gráfico a seguir (Figura 54) pode-se ver as curvas tensão X deslocamento dos cinco corpo de provas de 3mm de espessura. O comportamento do grupo de CPs durante a compressão diametral apresentou um padrão bem definido: a máxima força suportada ficou próxima aos 200N, e o deslocamento máximo foi cerca de 12mm.

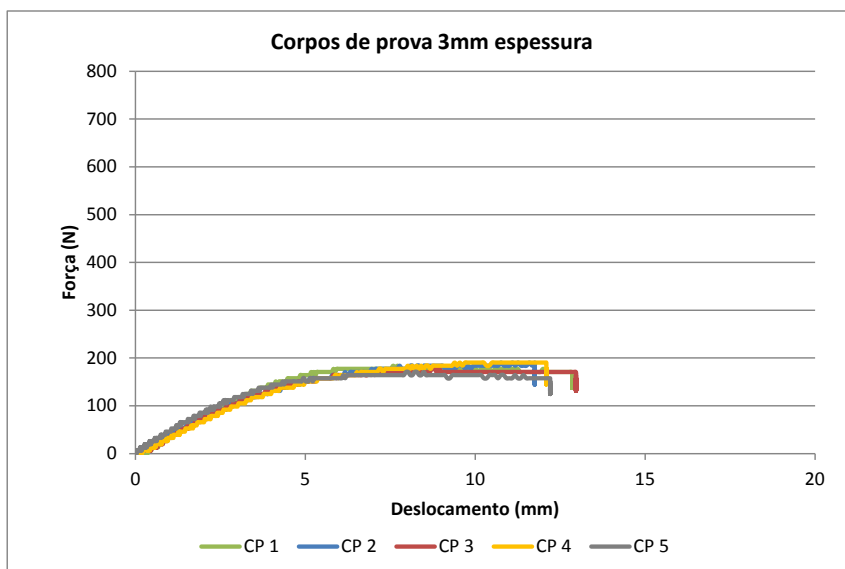


Figura 54 - Resultados do ensaio de compressão diametral – CPs 3mm espessura.

Através da leitura dos dados da Tabela 6, pode-se concluir que a carga média suportada pelos tubos de espessura de parede 3mm é 18,58 kgf, valor consideravelmente menor que a média carga máxima suportada no ensaio de compressão axial, que foi 415,66kgf.

Tabela 6 - Resultados do ensaio de compressão diametral – CPs 3mm espessura.

Corpo de prova	1	2	3	4	5	Média
Massa (g)	47,02	44,80	46,87	45,04	46,39	46,02
Máxima força (N)	183,91	190,48	177,35	190,48	170,78	182,60
Máxima carga (kgf)	18,75	19,42	18,08	19,42	17,41	18,58
Máximo deslocamento (mm)	12,85	11,75	12,97	12,09	12,21	12,37

O segundo ensaio foi realizado com o grupo de corpos de prova de 4mm de espessura de parede. A visualização das curvas do gráfico (Figura 55) comprova que os CPs também tiveram um comportamento similar, com pouca variação na força máxima suportada, que ficou na faixa dos 250N.

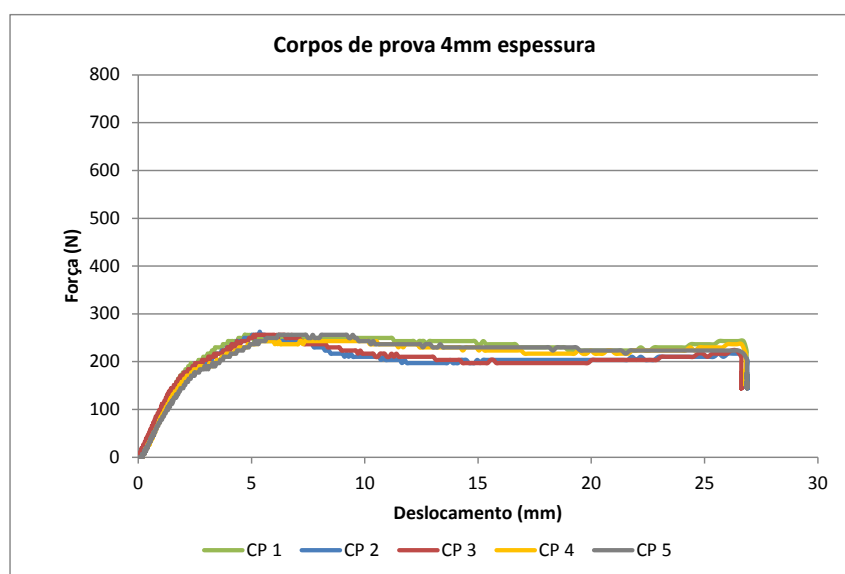


Figura 55 - Resultados do ensaio de compressão diametral – CPs 4mm espessura.

Os resultados de máxima força, carga e deslocamento são apresentados na Tabela 7 a seguir. Comparando os resultados com o ensaio anterior do grupo de 3mm, percebe-se um acréscimo de 7,13kgf na máxima carga média suportada. Em contraponto ao ensaio de compressão axial, os tubos de 4mm de espessura apresentaram uma diferença de 524,62kgf para menos no sentido diametral de compressão.

Tabela 7 - Resultados do ensaio de compressão diametral – CPs 4mm espessura.

Corpo de prova	1	2	3	4	5	Média
Massa (g)	66,49	66,52	66,82	66,47	66,49	66,55
Máxima força (N)	256,17	249,60	256,17	243,03	256,17	252,22
Máxima carga (kgf)	26,12	25,45	26,12	24,78	26,12	25,71
Máximo deslocamento (mm)	26,86	26,89	26,62	26,82	26,87	26,81

Continuando, realizaram-se os ensaios com os corpos de prova de 5mm de espessura de parede. Neste grupo, notaram-se comportamentos distintos em cada corpo de prova em relação à força máxima, que variou entre 387N e 512N. Já a deformação máxima apresentou um padrão, com o valor médio de 17mm de deslocamento (Figura 56).

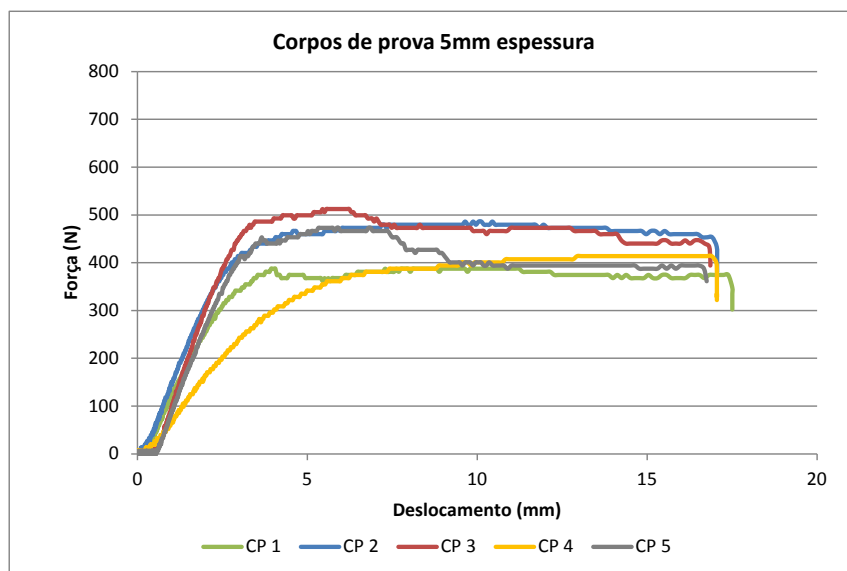


Figura 56 - Resultados do ensaio de compressão diametral – CPs 5mm espessura.

Os dados são mostrados com precisão na Tabela 8. Fazendo um comparativo com os resultados apresentados pelos corpos de prova de 5mm de espessura com os corpos de prova de 3mm e 4mm, ressalta-se um aumento de respectivamente, 27,76kgf e 20,63kgf na máxima carga média suportada. Já em relação ao valor de máxima carga média exposta pelos tubos de 5mm no sentido axial de compressão, calculou-se uma diferença de 827,59kgf de diminuição de resistência no sentido diametral. A relação massa X carga, que na compressão axial com os tubos de espessura 5mm resultou em quase 10kgf por grama, neste apresenta apenas 0,5kgf/grama.

Tabela 8 - Resultados do ensaio de compressão diametral – CPs 5mm espessura.

Corpo de prova	1	2	3	4	5	Média
Massa (g)	91,20	88,97	85,48	88,08	85,46	87,83
Máxima força (N)	387,53	486,06	512,33	413,81	472,92	454,53
Máxima carga (kgf)	39,51	49,56	52,24	42,19	48,22	46,34
Máximo deslocamento (mm)	17,51	17,06	16,86	17,05	16,75	17,04

O último ensaio de compressão realizado foi com os corpos de prova de 6,5mm de espessura de parede. Este grupo apresentou resultados heterogêneos de máximo deslocamento, mas semelhantes em relação à máxima força, conforme se visualiza pelas curvas de força X deformação na Figura 57.

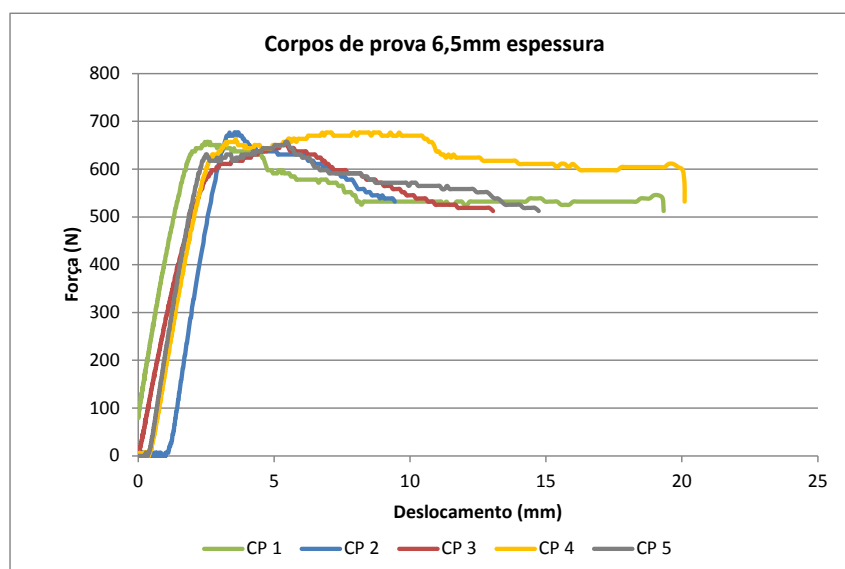


Figura 57 - Resultados do ensaio de compressão diametral – CPs 6,5mm espessura.

Nos valores numéricos apresentados na Tabela 9 a seguir, observa-se que a máxima carga de 67,64kgf suportada pelos tubos de 6,5mm de espessura foi 21,3kgf superior àquela apresentada pelos CPs de 5mm de espessura, 41,93kgf aos de 4mm e 49,06kgf aos de 3mm de espessura no sentido de compressão diametral. Mesmo assim, o valor ainda é muito inferior ao de máxima carga média suportada no sentido de compressão axial, que foi de 1132,87kgf no grupo de 6,5mm de espessura – ou seja, uma diferença de 1065,23kgf.

Tabela 9 - Resultados do ensaio de compressão diametral – CPs 6,5mm espessura.

Corpo de prova	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>Média</b>
Massa (g)	124,21	125,78	112,47	124,68	125,61	122,55
Máxima força (N)	656,83	676,54	650,27	676,54	656,83	663,40
Máxima carga (kgf)	66,97	68,98	66,30	68,98	66,97	67,64
Máximo deslocamento (mm)	19,33	9,44	13,05	20,10	14,73	15,33

Através da observação visual e tátil dos corpos de prova após o ensaio, pode-se perceber que as deformações não foram tão drásticas quanto no ensaio anterior, de compressão axial. Apenas houve um esmagamento na seção transversal, causando uma distorção na forma – inicialmente circular, e após, elíptica (Figura 58). Porém, não foram percebidas ondulações, amassamentos ou aumento da espessura das bordas.



Figura 58 - À esquerda, corpo de prova após o ensaio de compressão diametral; à direita, corpo de prova não submetido ao ensaio.

Realizando-se uma comparação entre os dois tipos de ensaios de compressão realizados – axial e diametral – evidencia-se que a resistência vertical dos tubos é maior que a horizontal: no grupo de corpos de prova de 3mm de espessura de parede, a diferença entre os valores de máxima carga média dos ensaios foi 22 vezes (415,66 e 18,58kgf) maior na compressão axial; no de 4mm de espessura, 21 vezes (550,33 e 25,71kgf); no grupo de corpos de prova de 5mm de espessura de parede, 19 vezes (873,93 e 46,34kgf); e, finalmente, no grupo de 6,5mm a diferença foi de 17 vezes maior na carga máxima média suportada no sentido axial de compressão (1132,87 e 67,64kgf).

Apesar do resultado satisfatório apresentado pelos corpos de prova de 6,5mm de espessura na compressão diametral (se comparado aos tubos de outras espessuras), acredita-se que a direção mais adequada e com maior relevância de utilização dos tubos de papelão é a vertical, com o sentido da carga aplicado paralelamente à seção transversal.

#### 4.6. FLAMBAGEM

O intuito do ensaio de flambagem é identificar o comportamento do tubo de papelão quando utilizado com um comprimento de 450mm (cerca de cinco vezes seu diâmetro externo). Os corpos de prova foram posicionados longitudinalmente entre as placas de pressão (Figura 59), e foram utilizados três corpos de prova de cada espessura estudada, totalizando 12 CPs.



Figura 59 - Corpo de prova sendo submetido ao ensaio de flambagem.

O primeiro ensaio realizado foi com os corpos de prova de 3mm. Na sequência, apresenta-se a curva força *versus* deslocamento (Figura 59) e a tabela com os valores de máxima força, carga e deslocamento.

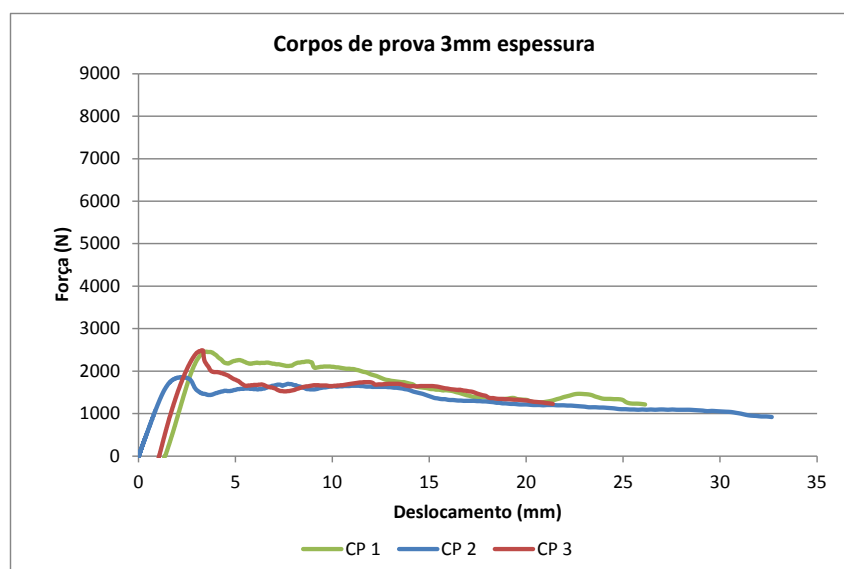


Figura 60 - Resultados do ensaio de flambagem – CPs 3mm espessura.



Nota-se que, com exceção do corpo de prova número 2, o comportamento apresentado pelos corpos de prova foi semelhante. A média de máxima carga suportada foi 231,29kgf, e o deslocamento médio 26,72mm, como se pode ver na Tabela 10.

Tabela 10 - Resultados do ensaio de flambagem – CPs 3mm espessura.

Corpo de prova	1	2	3	Média
Máxima força (N)	2456,60	1858,80	2489,40	2268,26
Máxima carga (kgf)	250,50	189,54	253,84	231,29
Máximo deslocamento (mm)	26,13	32,67	21,37	26,72

A Figura 61 mostra as deformações visuais dos corpos de prova após o ensaio, comparando-os com sua aparência inicial. Os amassamentos mais evidentes estão localizados nas junções entre as faixas de papel kraft, principalmente na parte superior, que estava em contato com a placa de pressão móvel. Percebe-se com clareza no corpo de prova número 2 o desvio na forma, que ficou inclinada para a esquerda.



Figura 61 - Comparação entre os corpos de prova de 3mm espessura.  
(A) Antes do ensaio; (B) Após o ensaio de flambagem.

O próximo ensaio foi realizado com os corpos de prova de 4mm de espessura de parede. Pelo gráfico a seguir (Figura 62) visualiza-se que o deslocamento apresentado pelo corpo de prova número 2 foi superior aos demais, e que após o pico de máxima força a curva tende a decrescer bruscamente (com alguns pequenos picos na força suportada).

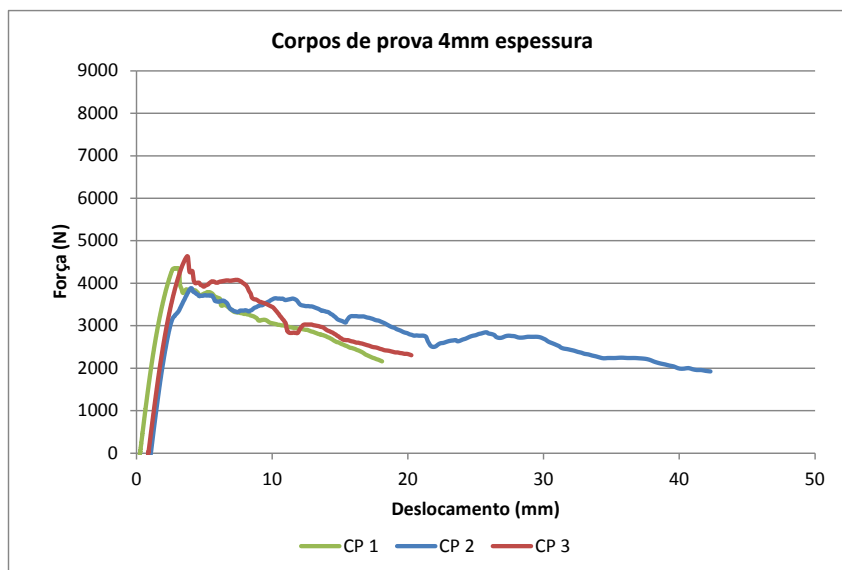


Figura 62 - Resultados do ensaio de flambagem – CPs 4mm espessura.

Com os dados apresentados na Tabela 11, sabe-se que a média da máxima carga suportada por este grupo foi 437,59kgf, valor não muito abaixo daquele apresentado pelos corpos de prova desta espessura no ensaio de compressão axial (550,33kgf), considerados satisfatórios.

Tabela 11 - Resultados do ensaio de flambagem – CPs 4mm espessura.

Corpo de prova	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>Média</b>
Máxima força (N)	4354,80	3881,90	4637,20	4291,30
Máxima carga (kgf)	444,06	395,84	472,86	437,59
Máximo deslocamento (mm)	18,10	42,30	20,26	26,88

Pela observação da Figura 63, percebe-se que a maior deformação foi a do corpo de prova número 2, que teve seu topo amassado, com aumento da espessura das bordas. São visíveis em todos os corpos de prova pequenas ondulações no sentido do enrolamento das faixas de papel, na área do encontro entre as tiras de kraft.



Figura 63 - Comparação entre os corpos de prova de 4mm espessura.  
(A) Antes do ensaio; (B) Após o ensaio de flambagem.

O grupo de corpos de prova de 5mm de espessura de parede apresentou valores bem distintos no pico de máxima força, apesar de deslocamento e comportamento (interação entre força *versus* deslocamento) semelhantes - Figura 64.

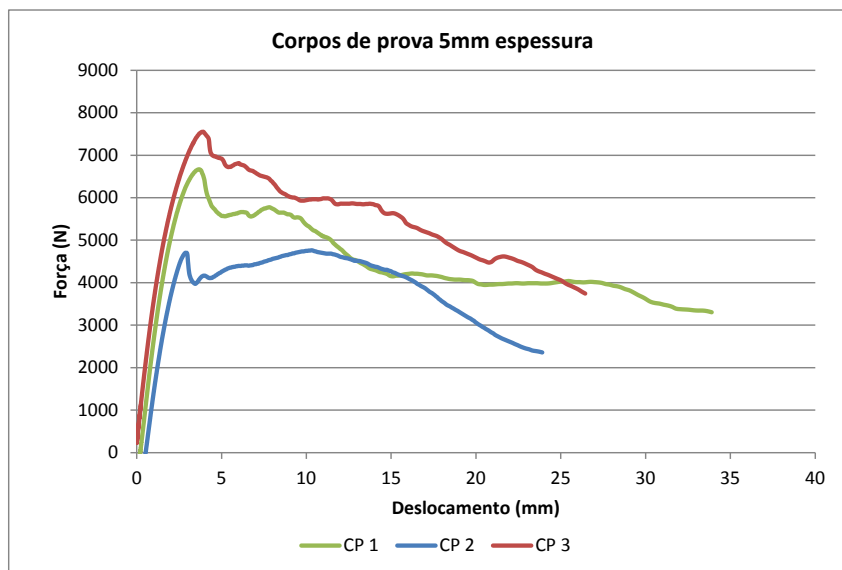


Figura 64 - Resultados do ensaio de flambagem – CPs 5mm espessura.

Os dados da Tabela 12 mostram que a máxima carga suportada variou entre 485 a 770 kgf – uma diferença de 285kgf. Porém, mesmo o menor valor apresenta uma alta resistência. O deslocamento médio foi de 28mm.

Tabela 12 - Resultados do ensaio de flambagem – CPs 5mm espessura.

Corpo de prova	1	2	3	Média
Máxima força (N)	6666,90	4762	7553,60	6327,50
Máxima carga (kgf)	679,83	485,58	770,25	645,22
Máximo deslocamento (mm)	33,90	23,91	26,44	28,08

As fotografias realizadas antes, durante e depois do ensaio revelam as deformações ocorridas (Figura 65B): o CP número 1 teve amassamentos e ondulações na base, ficando levemente inclinado para a esquerda; o corpo de prova 2 apresentou ondulações por toda a extensão da superfície externa, inclinando-se para a direita, e o CP número 3 teve amassamentos na borda superior e inferior.



Figura 65 - Comparação entre os corpos de prova de 5mm espessura.  
(A) Antes do ensaio; (B) Após o ensaio de flambagem.

O último ensaio de flambagem foi realizado com os corpos de prova de 6,5mm de espessura de parede. O gráfico força X deslocamento a seguir (Figura 66) indica que o valor máximo de força foi heterogêneo entre o grupo, e que o CP número 3 apresentou um comportamento distinto em relação aos demais, com vários picos de decréscimo e acréscimo de força suportada.

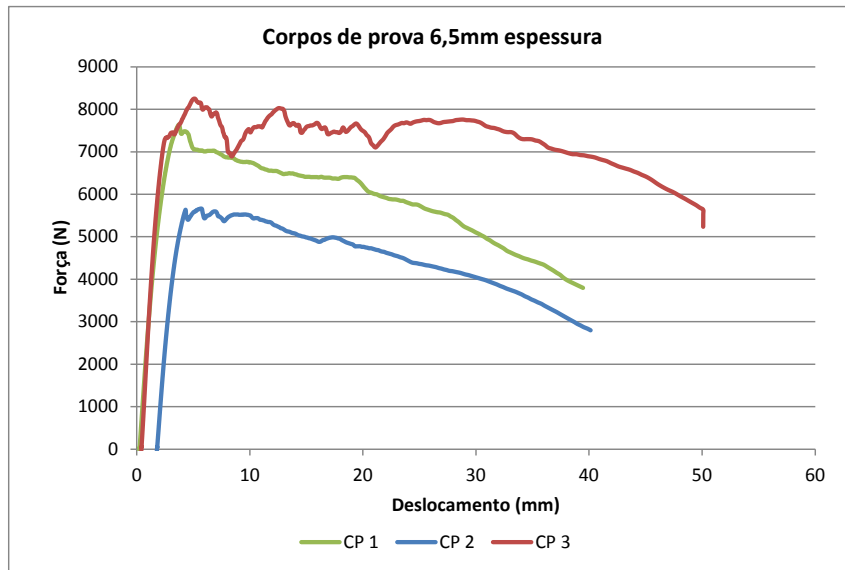


Figura 66 - Resultados do ensaio de flambagem – CPs 6,5mm espessura.

Na Tabela 13 são expostos com mais detalhes os valores de força, carga e deslocamento. A máxima carga média suportada foi 732,51kgf, 87,29kgf a mais que os tubos com espessura de 5mm, e o deslocamento variou entre 39 e 50mm.

Tabela 13 - Resultados do ensaio de flambagem – CPs 6,5mm espessura.

Corpo de prova	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>Média</b>
Máxima força (N)	7639	5661,90	8249,80	7183,56
Máxima carga (kgf)	778,96	577,35	841,24	732,51
Máximo deslocamento (mm)	39,47	40,14	50,10	43,23

Nas imagens a seguir (Figura 67) pode-se ver que as deformações ocorridas neste grupo foram bem evidentes: ondulações em toda extensão dos corpos de prova, amassamento na borda superior e alteração na forma vertical, que teve inclinações.



Figura 67 - Comparação entre os corpos de prova de 6,5mm espessura.  
(A) Antes do ensaio; (B) Após o ensaio de flambagem.

Após os ensaios, por meio de observação visual e tátil dos corpos de prova das quatro espessuras (Figura 68), percebe-se que ocorreram ondulações no sentido de enrolamento das faixas de papel kraft, com saliências e dobras; também é notável o amassamento das superfícies tanto interna quanto externa, em alguns corpos de prova com aumento da espessura das bordas superior e inferior. Em dois corpos de prova ocorreu o rasgamento de algumas camadas de papel, situação mais crítica que foi detectada.

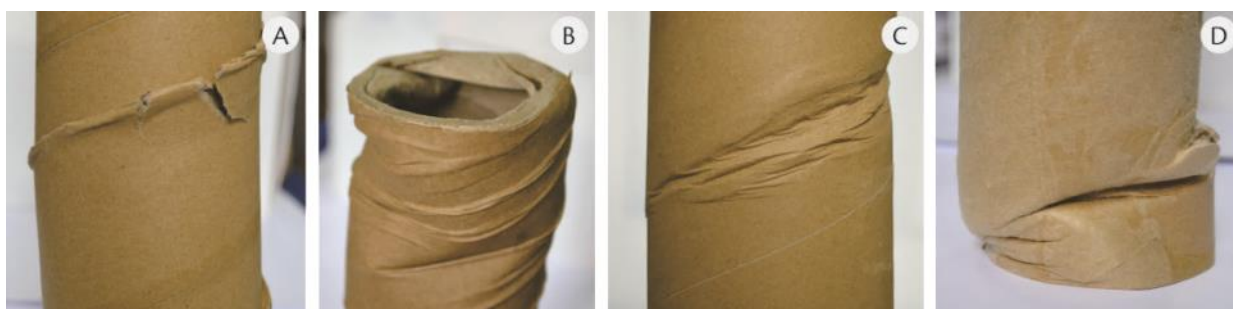


Figura 68 - Detalhes das deformações nos corpos de prova após os ensaios de flambagem. (A) Ondulações no sentido de enrolamento das faixas de papel, com rasgamento do papel na região central do corpo de prova; (B) Amassamento das superfícies interna e externa e aumento da espessura da borda superior; (C) Amassamentos na superfície externa; (D) Amassamento e rasgamento do papel na região próxima à borda inferior.

Este ensaio permitiu concluir que as falhas apresentadas não são repentinas; a desestabilização ocorre lentamente, na medida em que se aumenta a carga de compressão. O padrão no comportamento de flambagem percebido foi em forma de arco – alguns corpos de prova inclinavam para a direita, outros para a esquerda; estável, já que não houve ruptura súbita; e progressiva, já que a flambagem é proporcional à carga aplicada. Os valores de máxima carga

suportada foram reconhecidos como satisfatórios, viabilizando a utilização dos tubos no projeto de produtos esbeltos – por exemplo, mobiliário, como cadeiras, estantes e bancos.

Citam-se como fatores que influenciam na resistência deste material os já reconhecidos no ensaio de compressão axial: qualidade e gramatura do papel utilizado, existência de falhas nas emendas das faixas de papel e tipo de cola e eficiência da colagem.

#### 4.7. ABSORÇÃO

Conforme a norma ABNT NBR 14257:1998 Papel e cartão - Tubetes– Determinação da umidade – Método por secagem em estufa, os corpos de prova (cinco de cada espessura, totalizando 20) permaneceram 48h em uma estufa, à temperatura constante de 105°C, para que fosse removida a umidade naturalmente absorvida do ambiente. Foram pesados após 24h e 48h de secagem, quando foi atingida a massa constante.

Após a secagem, foram imersos em um recipiente com 6 litros de água por 10 minutos, e novamente pesados em determinados momentos (aos 10s, 30s, 1min, 5min e 10min de imersão). Quando eram retirados da água, absorvia-se o excesso de água dos corpos de prova com um pano seco. Os resultados detalhados das pesagens e os desvios padrão são expostos no Apêndice B - Absorção de água em função do tempo. A seguir, pode-se visualizar a porcentagem média dos valores de absorção de água em cada grupo de corpos de prova, onde o 100% refere-se aos CPs em temperatura e umidade naturais.

Tabela 14 - Porcentagem dos valores médios da absorção de água em função do tempo.

	<b>CPs 3mm</b>	<b>CPs 4mm</b>	<b>CPs 5mm</b>	<b>CPs 6,5mm</b>
Massa úmida	100%	100%	100%	100%
24h de secagem	91,79%	91,13%	93,90%	91,42%
48h de secagem	90,87%	90,94%	93,52%	91,08%
10s de imersão	103,46%	96,46%	103,86%	103,42%
30s de imersão	112,05%	104,74%	110,97%	111,41%
1min de imersão	121,28%	110,71%	117,69%	119,05%
5min de imersão	148,83%	118,74%	135,30%	138,82%
10min de imersão	173,84%	123,48%	150,25%	146,10%

A umidade incorporada nos tubos era 9,12% nos corpos de prova de 3mm, 9,06% nos de 4mm, 6,47% nos de 5mm e 8,91% nos de 6,5m, sendo a média geral 8,39% de umidade (valor semelhante àquele reconhecido na análise termogravimétrica). Após os 10min de imersão, os CPs

de 3mm de espessura aumentaram seu peso em 73,84%; os de 4mm, 23,48%; os de 5mm, 50,25% e os corpos de prova de 6,5mm de espessura de parede tiveram uma taxa de aumento de 46,10%.

Em relação às médias dos valores reconhecidos na análise, pode-se afirmar que houve um aumento de 48,41% no peso médio dos corpos de prova após 10 min de imersão, tendo como peso inicial o CP ao natural. Não se pode afirmar se este valor corresponde à saturação, pois os tubos começaram a desmanchar-se, inviabilizando o prolongamento da imersão; mesmo assim, considerou-se esta uma taxa elevada para um curto tempo de imersão, concluindo-se que o tubo de papelão é um material higroscópico, o que incentiva a pesquisa de recobrimentos impermeabilizantes.

Pela observação visual e tátil dos corpos de prova de 3mm de espessura após o ensaio (Figura 69), perceberam-se manchas, amolecimento, camadas separando-se, suscetíveis a esfarelamento e aumento de 1mm na espessura.

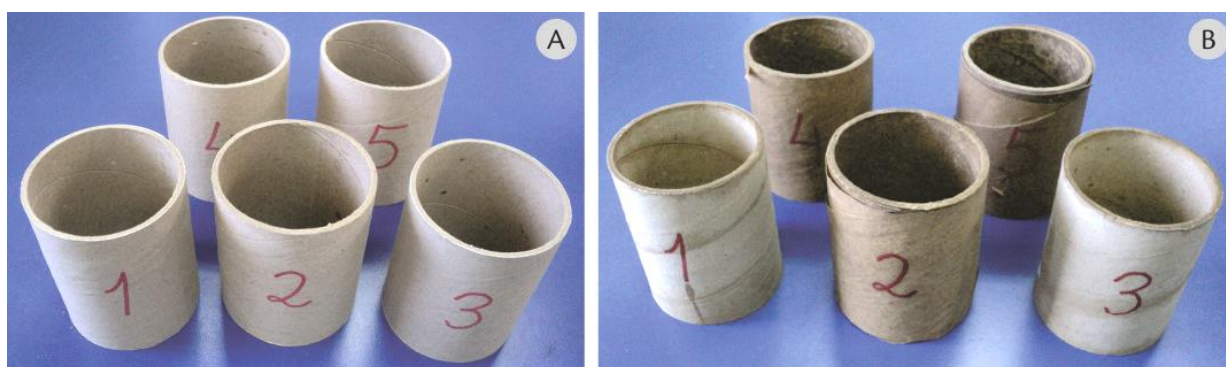


Figura 69 - (A) Corpos de prova de 3mm antes do ensaio; (B) Após o ensaio, com manchas e escurecidos.

Os corpos de prova das outras espessuras não apresentaram um amolecimento tão crítico, nem desprenderam suas camadas. Surgiram algumas bolhas superficiais, enrugamento das camadas externas de papel kraft e manchas de umidade (Figura 70). Houve um aumento médio de 1mm na espessura.



Figura 70 - Aspectos dos corpos de prova após o ensaio.



Perceberam-se alterações também na água onde os corpos de prova foram imersos: dependendo da espessura, esta adquiria uma cor amarronzada (nos corpos de prova de 3 e 4mm de espessura) ou esbranquiçada. Concluiu-se que esta diferença era devida ao tipo de cola utilizada na fabricação dos tubos, podendo ser polivinílica (PVA), na cor branca, ou à base de fécula de milho (coloração marrom).

Com os resultados do teste de absorção, constata-se a necessidade de estudos sobre a impermeabilização do material, visando condições adequadas para aplicação em produtos. Sabe-se, devido aos estudos de Salado (2006, p. 156) que os tubos de papelão perdem significativa resistência à compressão em ambientes com alto índice de umidade relativa do ar. Em seus estudos, manteve os corpos de prova por sete dias em um ambiente com umidade relativa de 90%. Durante o ensaio, o resultado foi uma perda entre 75 e 80% de resistência à compressão axial.

## **4.8. RECOBRIMENTOS**

### **4.8.1. Ensaio de absorção**

Com o objetivo de reconhecer um material de revestimento que impermeabilize os tubos de papelão, refez-se o ensaio de absorção de água com os tubos revestidos pelas tintas e vernizes citados anteriormente (resina multiuso, termolina, tinta acrílica, tinta esmalte, verniz acrílico e verniz marítimo, todos à base de água). Utilizaram-se neste ensaio apenas corpos de prova de 5mm de espessura, coletados em maior quantidade. A seguir podem-se ver os corpos de prova com três demãos de cada revestimento (Figura 71). As cores da tinta esmalte (marrom escuro) e acrílica (cinza) foram definidas pelo fato de serem as já adquiridas pela autora do trabalho.

Em relação ao aspecto visual dos corpos de prova com cada revestimento, fazem-se as seguintes observações: o verniz marítimo (Figura 71A) resultou em um acabamento brilhante e com coloração amarelada, escurecendo os tubos de papelão; o verniz acrílico (Figura 71B) alterou sutilmente a cor, dando um acabamento acetinado; as tintas, tanto a esmalte (Figura 71C) quanto a acrílica (Figura 71D), resultaram em um acabamento semi-brilhante, ocultando completamente o material; a termolina (Figura 71E) foi o revestimento considerado mais discreto, dando um leve brilho sem alteração da cor dos tubos; já a resina multiuso (Figura 71F) resultou em um acabamento muito brilhante, mas sem alterar a cor original dos materiais.



Figura 71 - (A) Corpos de prova revestidos com verniz marítimo; (B) Verniz acrílico; (C) Tinta esmalte; (D) Tinta acrílica; (E) Termolite e (F) Resina multiuso. Todos os materiais de recobrimento são à base de água.

O aumento de espessura foi imperceptível a olho nu; segundo alguns fabricantes, a aplicação de três camadas de tinta, com pincel, causa um aumento de cerca de 70  $\mu\text{m}$  na espessura. Abaixo, podem-se ver os corpos de prova sem revestimento (Figura 72), que seguiram o procedimento do ensaio juntamente com os corpos de prova recobertos.



Figura 72 - Corpos de prova sem revestimento.

Os recobrimentos foram aplicados em duas e três demãos (cinco corpos de prova para cada grupo), na superfície interna, externa e nas bordas superiores e inferiores dos tubos, após eles terem atingido o equilíbrio de umidade na atmosfera condicionadora de temperatura  $23\pm 1^{\circ}\text{C}$  e umidade relativa  $50\pm 2\%$ , conforme ABNT NBR 14102:2002 Papel e cartão - Tubetes- Condicionamento das amostras.

Após o tempo total de cura e secagem em ambiente climatizado (sete dias), os corpos de prova foram imersos em um recipiente com 6l de água e pesados em determinados momentos (novamente 10s, 30s, 1min, 5min, 10min e, exclusivamente nestes ensaios, 20min).

Os valores de cada pesagem na íntegra podem ser vistos no Apêndice C. A seguir, os resultados da absorção de água, que correspondem às médias entre os cinco corpos de prova ensaiados e são descritos em porcentagem, tendo como valor inicial a massa após o recobrimento – no caso dos CPs sem recobrimento, 100% refere-se à massa em equilíbrio de umidade.

Iniciando pelos CPs sem recobrimento (Tabela 15), visualiza-se um aumento de 94% em relação ao seu peso inicial; os corpos de prova praticamente dobraram sua massa após a imersão.

Tabela 15 - Porcentagem dos valores médios da absorção em função do tempo em corpos de prova sem recobrimento.

	<b>Sem recobrimento</b>
Equilíbrio umidade	100%
10s imersão	108,98%
30s imersão	117,40%
1min imersão	124,81%
5min imersão	146,93%
10min imersão	167,77%
20min imersão	194,27%

Ao final do ensaio, os tubos de papelão sem recobrimento mostravam-se completamente amolecidos, com várias manchas de infiltração, camadas soltando-se e inchamento das bordas.

Na sequência (Tabela 16) podem-se ver os valores médios do aumento da massa de água absorvida em função do tempo de imersão, após recobrimento com verniz acrílico. Em comparação aos corpos de prova sem revestimento, tem-se uma diminuição de 64,55% naqueles revestidos com verniz acrílico em duas demãos e 77,12% nos revestidos com três demãos, após o tempo máximo de imersão.

Tabela 16 - Porcentagem dos valores médios da absorção com o revestimento verniz acrílico, em duas e três demãos.

	<b>Verniz acrílico 2 demãos</b>	<b>Verniz acrílico 3 demãos</b>
Massa revestimento	100%	100%
10s imersão	101,35%	100,84%
30s imersão	102,41%	101,90%
1min imersão	103,98%	103,18%
5min imersão	110,11%	106,57%
10min imersão	116,93%	110,52%
20min imersão	129,72%	117,15%

O próximo ensaio foi realizado com a termolina, novamente em duas e três demãos. A seguir (Tabela 17) percebe-se a pouca variação entre o peso máximo nos corpos de prova com duas ou três demãos de revestimento. Comparando-se estes valores com os de corpos de prova sem revestimento, percebe-se uma diferença de 62,71% no caso de 2 demãos e 65,28% no caso de 3 demãos de revestimento de termolina. Apesar de ser uma grande diferença, não se considerou que este material proporcione uma impermeabilização satisfatória.

Tabela 17 - Porcentagem dos valores médios da absorção com o revestimento termolina, em duas e três demãos.

	<b>Termolina 2 demãos</b>	<b>Termolina 3 demãos</b>
Massa revestimento	100%	100%
10s imersão	102,54%	103,11%
30s imersão	104,46%	105,49%
1min imersão	106,45%	107,66%
5min imersão	113%	114,02%
10min imersão	120,35%	120,90%
20min imersão	131,56%	128,99%

O terceiro revestimento ensaiado foi o verniz marítimo, também em duas e em três demãos. O material correspondeu à expectativa de impermeabilização, já que sua formulação é desenvolvida para proteger superfícies de madeira expostas a intempéries. Como se pode ver na Tabela 18 a seguir, a diferença de absorção nos corpos de prova revestidos com este material foi considerável: 80,59% menor taxa de absorção no revestimento com duas demãos e 88% no com três demãos.

Tabela 18 - Porcentagem dos valores médios da absorção com o recobrimento verniz marítimo, em duas e três demãos.

	<b>Verniz marítimo 2 demãos</b>	<b>Verniz marítimo 3 demãos</b>
Massa recobrimento	100%	100%
10s imersão	101,58%	100,55%
30s imersão	102,52%	101,25%
1min imersão	103,58%	101,69%
5min imersão	106,02%	103,82%
10min imersão	109,10%	105,32%
20min imersão	113,68%	106,28%

O próximo ensaio foi realizado com a tinta acrílica, e os dados podem ser vistos na Tabela 19. A aplicação em duas demãos teve resultados semelhantes com o revestimento termolina também aplicado em duas demãos; porém, em 3 demãos o resultado foi superior. Em comparação aos resultados apresentados pelos corpos de prova sem revestimento, notou-se uma diminuição de 58% na massa final, após os 20min de imersão, com o revestimento tinta acrílica em duas demãos; e 74,71% no revestimento com 3 demãos.

Tabela 19 - Porcentagem dos valores médios da absorção com o recobrimento tinta acrílica, em duas e três demãos.

	<b>Tinta acrílica 2 demãos</b>	<b>Tinta acrílica 3 demãos</b>
Massa recobrimento	100%	100%
10s imersão	102,54%	101,72%
30s imersão	105,22%	103,31%
1min imersão	107,50%	104,77%
5min imersão	116,18%	108,49%
10min imersão	125,12%	112,53%
20min imersão	136,29%	119,56%

Dando sequência, testou-se o recobrimento com tinta esmalte, e os valores são expostos a seguir (Tabela 20). Percebe-se que os resultados apresentados por este recobrimento foram os melhores após os apresentados pelo verniz marítimo. Avaliando-se a porcentagem da massa após os 20min de imersão em comparação com os corpos de prova sem revestimento, tem-se uma diminuição de 65,29% nos CPs revestidos com duas demãos de tinta esmalte e 82,57% naqueles revestidos com tinta esmalte em três demãos.

Tabela 20 - Porcentagem dos valores médios da absorção com o recobrimento tinta esmalte, em duas e três demãos.

	<b>Tinta esmalte 2 demãos</b>	<b>Tinta esmalte 3 demãos</b>
Massa recobrimento	100%	100%
10s imersão	102,14%	101,12%
30s imersão	103,87%	102,21%
1min imersão	105,55%	102,87%
5min imersão	113,16%	105,01%
10min imersão	118,02%	107,45%
20min imersão	128,98%	111,70%

O último ensaio foi realizado com o revestimento resina multiuso; como pode ser visto a seguir, na Tabela 21, este material apresentou os piores resultados dentre todos os recobrimentos testados. Com a aplicação de duas demãos, ocorreu uma diminuição de 53,46% na massa final dos corpos de prova após os 20min de imersão; e com três demãos, a diminuição foi de 55,61%. Além de o resultado ser considerado ineficiente, conclui-se não haver diferenças de impermeabilização na aplicação de uma demão a mais.

Tabela 21 - Porcentagem dos valores médios da absorção com o recobrimento resina multiuso, em duas e três demãos.

	<b>Resina multiuso 2 demãos</b>	<b>Resina multiuso 3 demãos</b>
Massa recobrimento	100%	100%
10s imersão	103,55%	103,09%
30s imersão	106,45%	106,34%
1min imersão	109,31%	109,32%
5min imersão	117,78%	120,10%
10min imersão	127,10%	127,61%
20min imersão	140,81%	138,66%

Os resultados apresentados por todos os recobrimentos foram unidos em um gráfico (Figura 73), com a média de todos os valores, que permite comparar a porcentagem de absorção em relação ao tempo. Pela visualização do gráfico, pode-se concluir que o melhor resultado de impermeabilização foi apresentado pelo verniz marítimo aplicado em 3 demãos, seguido da tinta esmalte aplicada em 3 demãos, o verniz marítimo em 2 demãos e o verniz acrílico aplicado em 3 demãos, também considerados resultados satisfatórios.

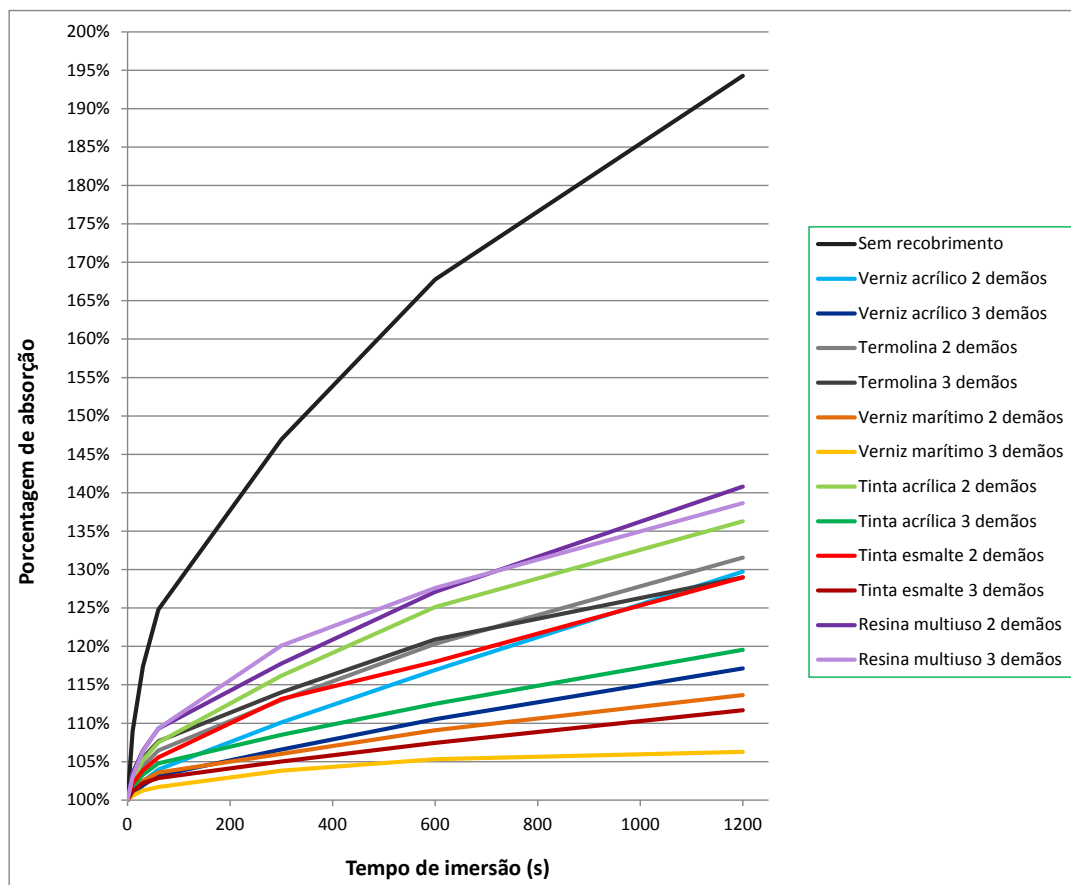


Figura 73 - Resultados dos ensaios de absorção dos diferentes revestimentos testados.

O aspecto visual e tátil dos corpos de prova após os ensaios (Figura 74) corrobora com os dados do gráfico: os tubos sem revestimento (Figura 74A) apresentaram manchas de infiltração, aumento da espessura da borda e camadas internas descolando; aqueles recobertos com verniz acrílico (Figura 74B) tiveram infiltração principalmente na porção próxima às bordas dos tubos, e percebeu-se um aumento na espessura; os revestidos com termolina (Figura 74C) tiveram algumas infiltrações localizadas, e pequenas rachaduras; os corpos de prova revestidos com verniz marítimo (Figura 74D) apresentaram poucas manchas de infiltração e não demonstraram fragilidade ou amolecimento; aqueles recobertos com tinta acrílica (Figura 74E) e esmalte (Figura 74F) tiveram enrugamentos e inchamento nas áreas próximas às bordas; os recobertos com a resina multiuso (Figura 74G) estavam amolecidos, inchados, com manchas de infiltração, com as camadas soltando-se e com rachaduras em vários pontos (detalhe na Figura 74H).

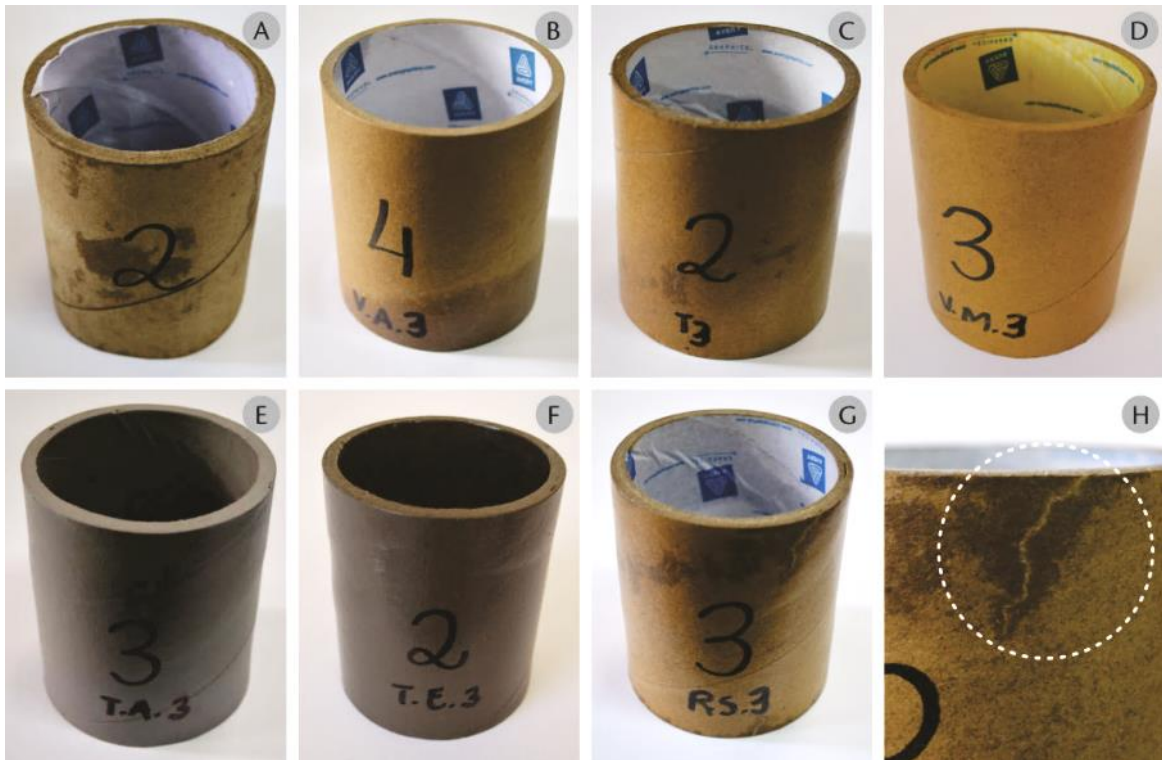


Figura 74 - Aspecto visual dos corpos de prova após o ensaio de absorção. (A) Sem revestimento; (B) Revestimento verniz acrílico, 3 demãos; (C) Revestimento termolína, 3 demãos; (D) Revestimento verniz marítimo, 3 demãos; (E) Revestimento tinta acrílica, 3 demãos; (F) Revestimento tinta esmalte, 3 demãos; (G) Revestimento resina multiuso, 3 demãos; (H) Detalhe da infiltração e rachaduras com o revestimento resina multiuso 3 demãos.

Além dos recobrimentos testados, é interessante salientar que cada tipo de papel possui um nível diferente de absorção de água. Cardoso *et al.* (2012) comentam sobre este índice, afirmando que os papéis com alta quantidade de fibra reciclada apresentam as maiores absorções de água – e, conseqüentemente, maior absorção do adesivo utilizado na fabricação, o que pode acarretar também em falhas de colagem.

#### 4.8.2. Microscopia eletrônica de varredura do melhor recobrimento

De forma a identificar de que forma o verniz marítimo gerou uma impermeabilização tão satisfatória, recortou-se uma amostra de 10mm X 10mm do corpo de prova número um, revestido com três demãos de verniz marítimo, para analisá-la por microscopia eletrônica de varredura. As imagens geradas mostram que as superfícies que receberam o recobrimento com o material ficaram significativamente homogêneas; não é possível sequer ver as fibras do papel (Figura 75).



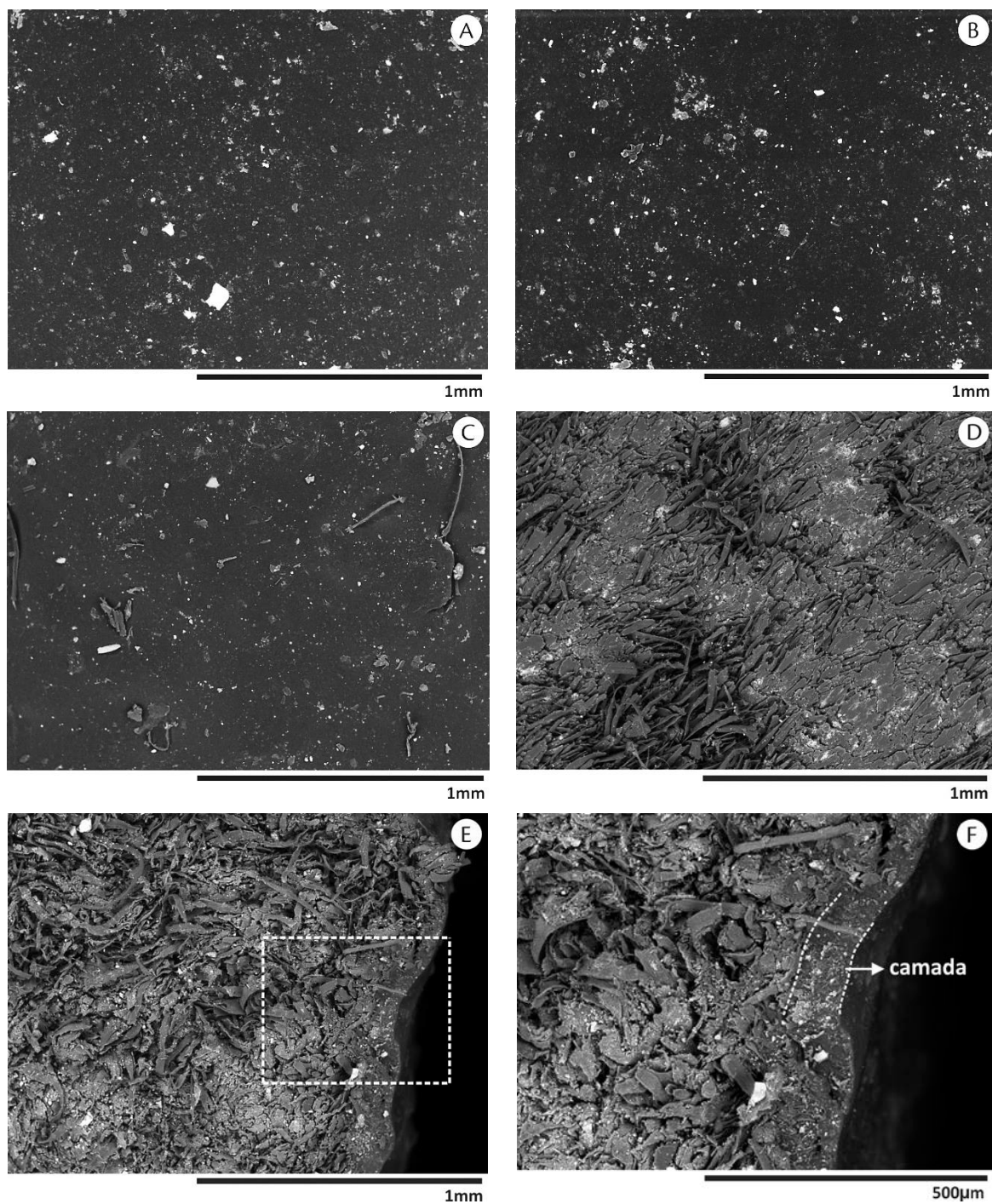


Figura 75 - Microscopia eletrônica de varredura do tubo de papelão revestido com três demãos de verniz marítimo. (A) Superfície interna; (B) Superfície externa; (C) Superfície da borda; (D) Imagem comparativa do MEV da borda de uma amostra sem recobrimento; (E) Borda sem revestimento, onde se pode visualizar a camada criada pelo verniz marítimo; (F) Ampliação da área quadriculada na imagem anterior, destacando a referida camada.

A Figura 75C evidencia essa informação, expondo a borda do tubo de papelão – região onde as fibras estão mais desalinhadas, facilitando a penetração da água – totalmente revestida, “fechada” pelo verniz marítimo. Podem-se ver apenas algumas fibras do papel. Para fins de

comparação, a Figura 75D expõe a borda de um tubo sem revestimento, ressaltando o quão fibrosa é essa área.

Pela microscopia realizada na borda recortada, sem revestimento (Figura 75E) pode-se visualizar a camada criada pelo verniz marítimo; a área destacada com o quadriculado é ampliada na Figura 75F, na qual se evidencia a espessura da referida camada, reconhecida em cerca de 80 $\mu$ m.

#### **4.8.3. Determinação da aderência dos recobrimentos**

Revestiu-se a superfície externa de dez corpos de prova com cinco tipos diferentes de materiais (termolina, verniz acrílico, verniz marítimo, tinta acrílica e tinta esmalte), em duas e três demãos, e esperou-se o tempo total de cura e secagem. Pelo resultado insatisfatório apresentado pela resina multiuso no ensaio de absorção, optou-se por não realizar o teste de determinação da aderência do revestimento com este material.

Como já descrito, efetuaram-se cortes cruzados em ângulo reto, distados 2mm entre eles; de modo a obter uma grade de 25 quadrados e aplicou-se sobre a área quadriculada 100mm de fita adesiva, que foi removida de forma contínua após o intervalo de 1 a 2min da aplicação.

Nos primeiros corpos de prova ensaiados, percebeu-se que ao invés de ocorrer o destacamento do material de recobrimento, destacavam-se as camadas de papelão: o corte com estilete alcançava a segunda camada de papel, pois a primeira (produzida com o kraft liner, de acabamento), é pouco espessa. Continuaram-se os ensaios e o padrão foi diagnosticado em todos os corpos de prova, independente da quantidade de demãos aplicadas, como se vê na Figura 76. Sem exceção, o destacamento visivelmente ocorre nas camadas de papelão, variando a quantidade de quadrados arrancada.

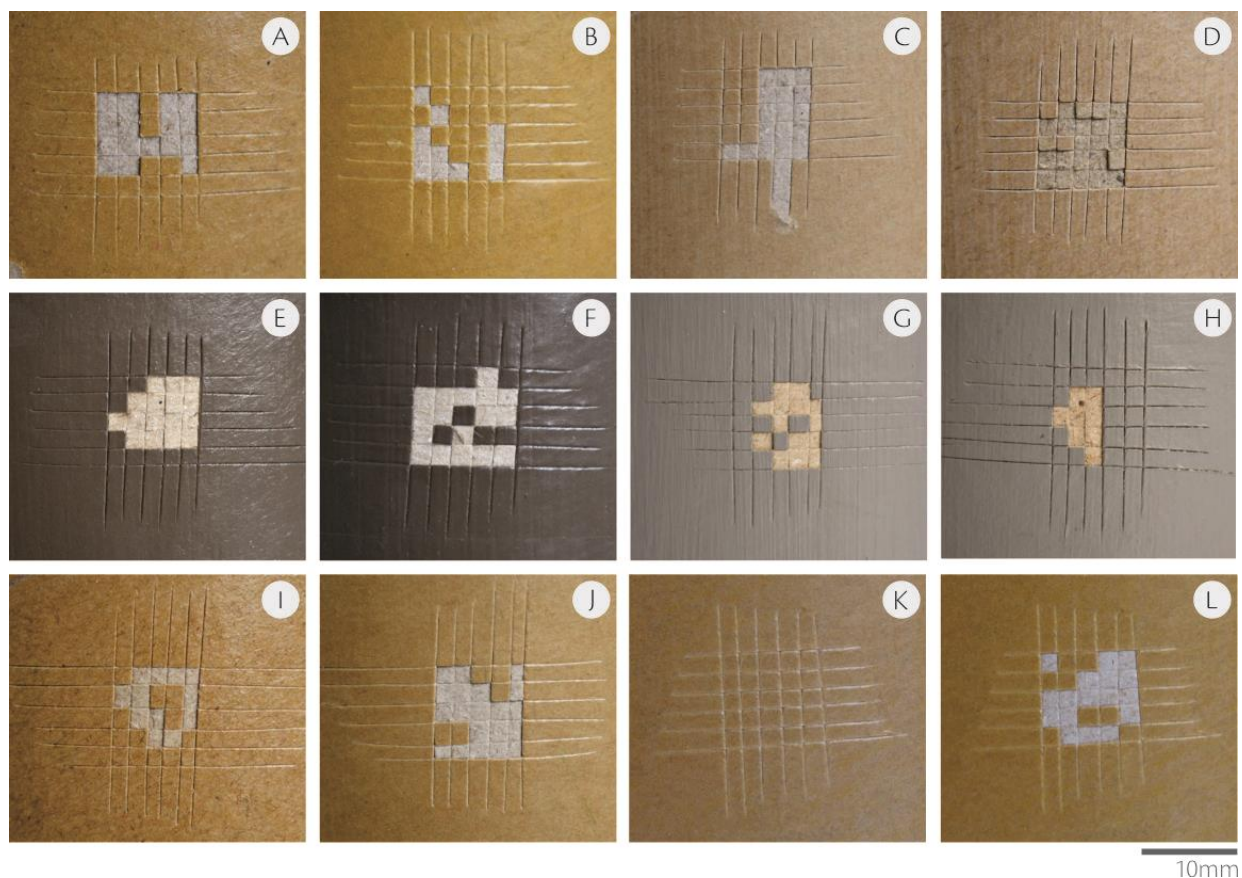


Figura 76 - Resultados do ensaio de determinação da aderência do revestimento. (A) Verniz marítimo 2 demãos; (B) Verniz marítimo 3 demãos; (C) Verniz acrílico 2 demãos; (D) Verniz acrílico 3 demãos; (E) Tinta esmalte 2 demãos; (F) Tinta esmalte 3 demãos; (G) Tinta acrílica 2 demãos; (H) Tinta acrílica 3 demãos; (I) Termolina 2 demãos; (J) Termolina 3 demãos; (K) e (L) Comparação entre a mesma área antes (K) e após (L) a aplicação da fita adesiva.

Pelos resultados, observa-se que provavelmente seria necessária a pesquisa de normas e procedimentos de ensaio que relevem os materiais constituídos por camadas, como é o caso dos tubos, determinando outro método para avaliação da aderência. Outra opção é realizar os cortes com o estilete de forma mecânica e automática, determinando exatamente a profundidade de penetração da lâmina na camada de revestimento, evitando assim que execute o corte das camadas de papel.

Apesar da aparente não adequação do procedimento, concluiu-se que aderência dos materiais de recobrimento foi suficiente, já que o arrancamento ocorre entre as camadas de papel, e não na camada de revestimento.

#### 4.9. CORTE A LASER

Com o intuito de reconhecer qual potência e velocidade de corte era mais eficaz para cada espessura de tubo de papelão, desenhou-se no software do equipamento laser um retângulo de 25mm de comprimento e 4mm de altura, e realizou-se este corte no material – um retângulo para cada variação de parâmetro testado (as potências utilizadas foram 50, 60, 70, 80 e 90W, e a velocidade iniciou em 5mm/s e, variando de 5 em 5mm/s, aumentava até onde o corte era rompido por completo).

Nos ensaios exploratórios, percebeu-se que o feixe laser atravessava a superfície que estava sendo cortada, queimando também a superfície interna. Por isso, foram confeccionados “reforços” – pedaços de 100mm de tubos de menor diâmetro – que eram posicionados dentro do tubo que estava sendo cortado, protegendo sua superfície interna (Figura 77).

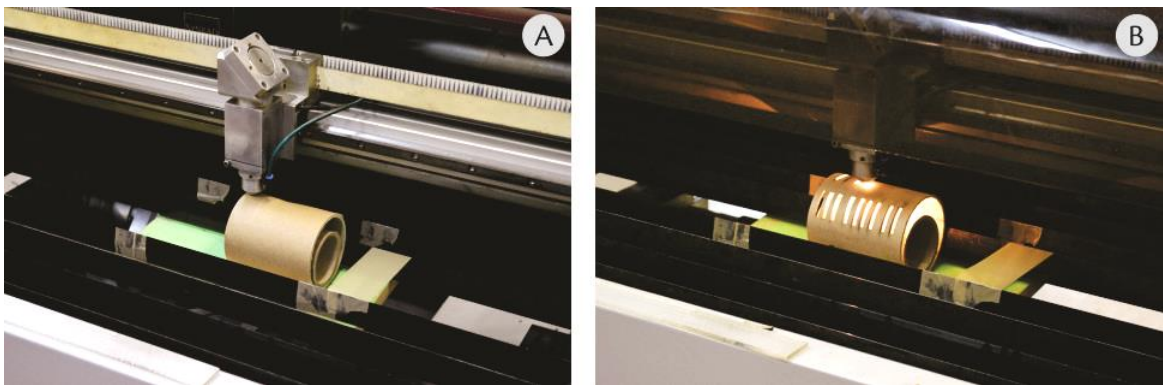


Figura 77 - (A) Corpo de prova posicionado para o corte, com o reforço interno para que o laser não queime a superfície interna; (B) Ensaio de corte a laser em andamento.

No total, entre todas as espessuras estudadas no ensaio definitivo, foram realizados 131 cortes no formato de retângulo, em diferentes combinações de potência e velocidade. Na Figura 78 apresentam-se os corpos de prova de 4mm de espessura, após a realização do ensaio.



Figura 78 - Ensaio de corte a laser realizados nos tubos de papelão.

Para analisar os cortes e as superfícies externa e interna, os tubos foram “abertos” com uma serra tico-tico e visualizados a olho nu, registrando-se os resultados por meio de fotografias. Na imagem abaixo (Figura 79) pode-se ver o corpo de prova de 6,5mm de espessura. Apesar de o corte ser aparentemente eficaz pela vista externa (A), quando analisado pelo lado interno (B) pode-se ver as áreas escurecidas devido à queima.



Figura 79 - Corpo de prova de 6,5mm de espessura após os cortes a laser.(A) Vista externa; (B) Vista interna.

Pela observação visual, na Tabela 22, encontram-se as maiores velocidades de ação do laser passíveis de romper por completo os tubos de papelão, nas distintas espessuras, consideradas velocidades eficazes de corte.

Tabela 22 - Velocidades eficazes de corte a laser para os tubos de papelão, de acordo com cada potência e espessura.

Potência	CP 3mm	CP 4mm	CP 5mm	CP 6,5mm
25 (50W)	30mm/s	15mm/s*	15mm/s*	5mm/s*
30 (60W)	35mm/s	20mm/s	20mm/s	10mm/s*
35 (70W)	50mm/s	30mm/s	20mm/s	15mm/s*
40 (80W)	55mm/s	40mm/s	25mm/s	15mm/s*
45 (90W)	60mm/s	50mm/s	30mm/s	20mm/s*

\*Superfície com coloração bastante escurecida devido à queima.

As velocidades menores do que as apresentadas na Tabela 22 também ocasionaram o corte total, porém causaram maior queima, já que o feixe de laser permaneceu maior tempo em contato com o material, gerando uma alteração (escurecimento) da área. Além disso, quanto maior o tempo de contato do laser, maiores as chances de o material entrar em combustão. Já as velocidades maiores que as apresentadas na tabela não romperam por completo o corpo de prova, e foram consideradas ineficientes.

Os resultados confirmam aqueles da pesquisa de Raseira (2013), apesar de ser um material distinto: quanto maior a espessura do material – neste caso o tubo de papelão –, menor é a velocidade eficaz de corte, resultando em um maior tempo de interação laser/material para que haja o rompimento total.

Como foram percebidas poucas diferenças visuais (queima e acabamento) entre as mesmas potências e velocidades de corte em tubos de papelão de espessuras distintas, selecionou-se o tubo de papelão de 4mm de espessura, cortado na potência de 90W, com as velocidades variando entre 5 e 55mm/s, para a análise mais detalhada com o uso do microscópio estereoscópico. Assim, apresenta-se uma fotografia dos cortes realizados (Figura 80A) e as imagens de microestereoscopia de cada corte (Figura 80B), onde se pode visualizar a variação de tonalidade da área atingida pelo feixe de laser.

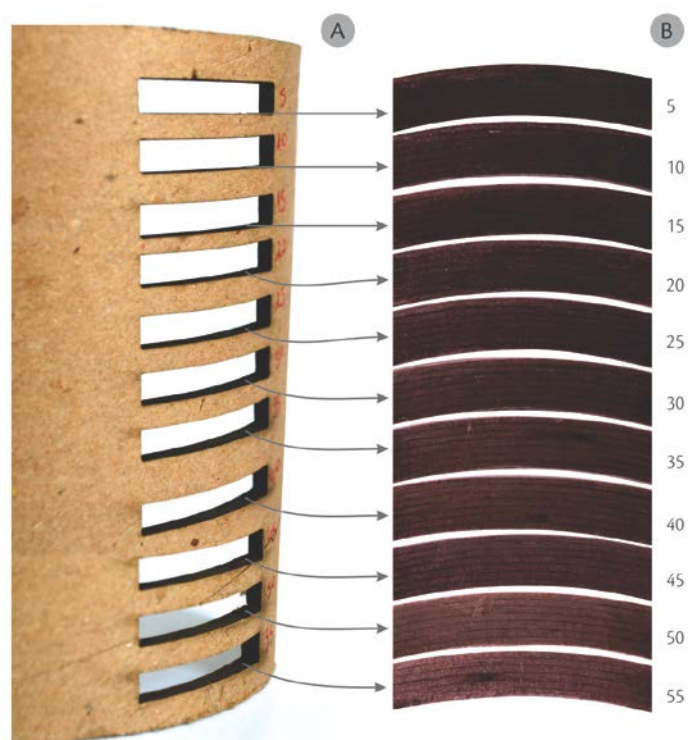


Figura 80 - (A) Fotografia do tubo de papelão de 4mm, cortado na potência 90W; (B) Imagens de microestereoscopia da variação de velocidade do corte, de 5 até 55mm/s.

Percebeu-se que há alguns fatores que podem ter influenciado a eficiência do corte a laser: condições climáticas (temperatura e umidade), já que a sala onde este teste foi realizado não é climatizada; e a dificuldade em se atingir o foco ideal do feixe de laser, já que devido à superfície cilíndrica dos tubos, o laser perdia sua distância focal ideal à medida que avançava lateralmente.

Esta condição sugere a limitação de que o corte a laser somente é possível em um determinado perímetro do tubo.

#### 4.10. MÉTODOS DE UNIÕES

Para experimentar algumas possibilidades de uniões, o primeiro passo foi confeccionar as peças a serem utilizadas. Foram feitos três tipos de cortes: reto, em bisel (ângulo de 45°) e boca de peixe, como se pode ver na Figura 81. Também nesta etapa realizou-se a furação nos locais determinados à união por abraçadeira utilizando-se uma micro retífica equipada com broca de 3mm (etapa que, industrialmente, poderia ser desenvolvida com o uso de corte a laser).

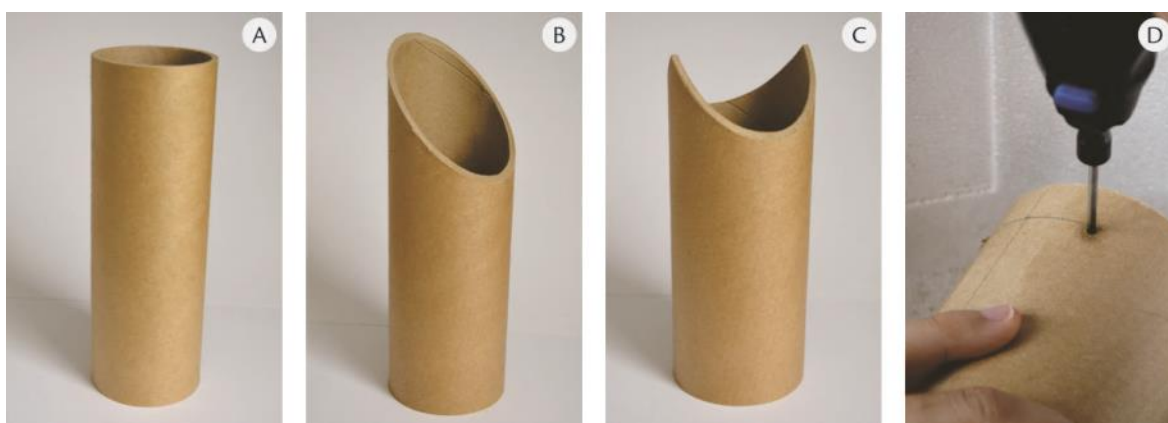


Figura 81 - Cortes realizados nos tubos de papelão para confecção das uniões. (A) Reto; (B) Bisel; (C) Boca de peixe; (D) Furação sendo realizada com micro retífica equipada com broca 3mm.

Com as peças preparadas, iniciou-se a confecção das uniões pré-determinadas, conforme listado a seguir:

- União de topo (colada e com abraçadeira);
- União em bisel (colada e com abraçadeira);
- União paralela em dupla (colada e com abraçadeira);
- União encaixada em colmeia;
- União paralela em trio (abraçadeira);
- União perpendicular boca de peixe (colada e com abraçadeira);
- União de quina em ângulo de 45° (colada e com abraçadeira).

Da Figura 82 até a Figura 90 são apresentadas imagens das experimentações de uniões realizadas nos tubos de papelão.



Figura 82 - União paralela em dupla. (A) União finalizada com abraçadeira; (B) Detalhe da abraçadeira; (C) União finalizada com cola.

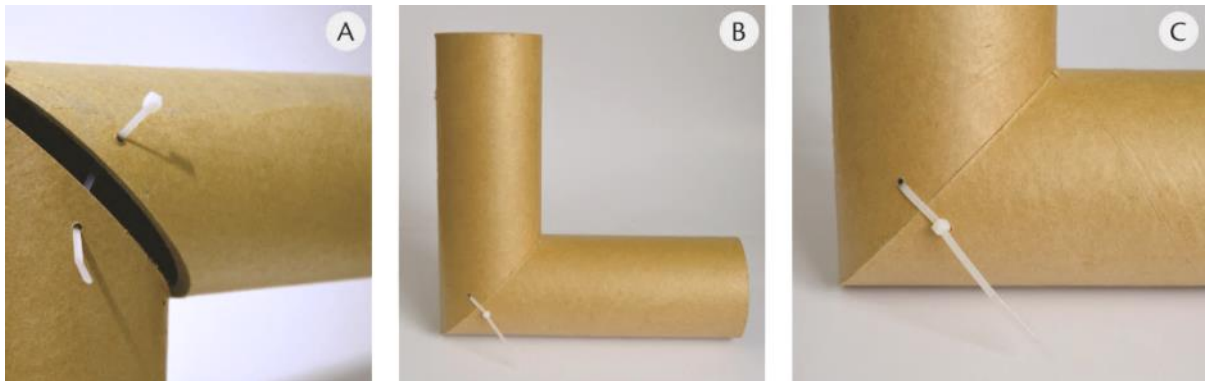


Figura 83 - União de quina com abraçadeira. (A) Detalhe da abraçadeira aberta; (B) União finalizada; (C) Detalhe da abraçadeira fechada.

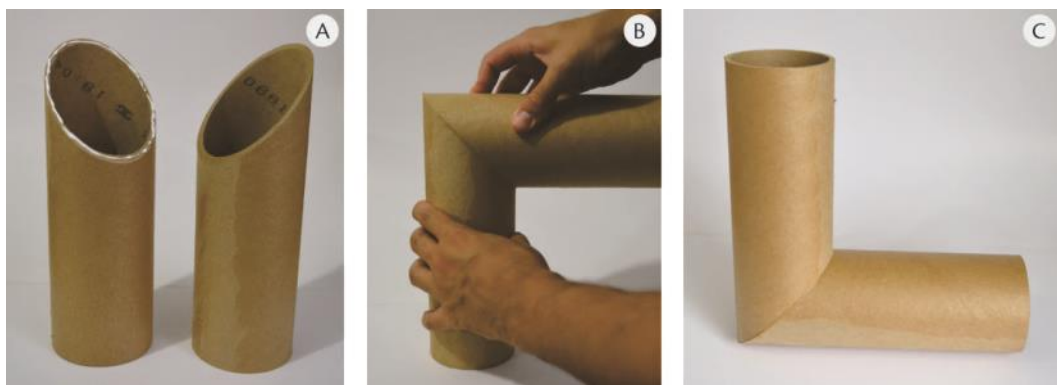


Figura 84 - União de quina colada. (A) Peças a serem unidas, com cola na borda; (B) Colagem das peças, mantendo as superfícies pressionadas; (C) União finalizada.



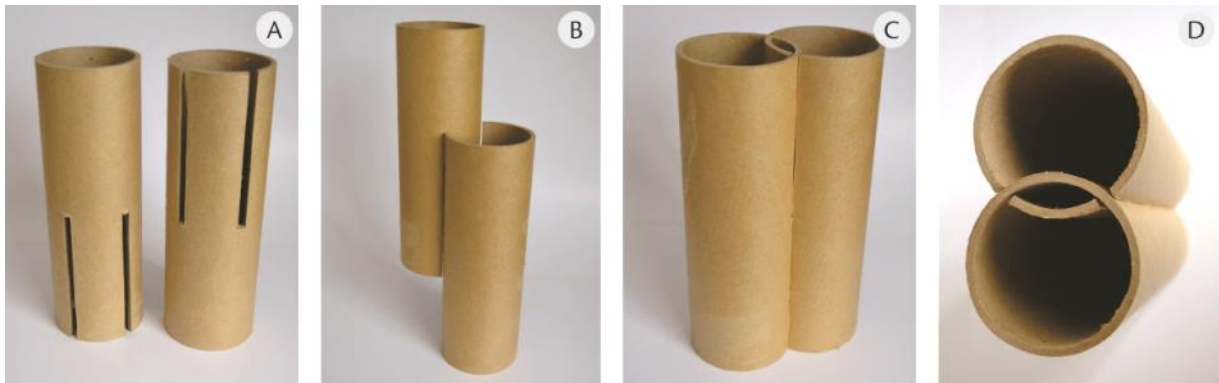


Figura 85 - União encaixada em colméia. (A) Peças cortadas; (B) Encaixe sendo realizado; (C) União finalizada; (D) Detalhe da vista superior da união.

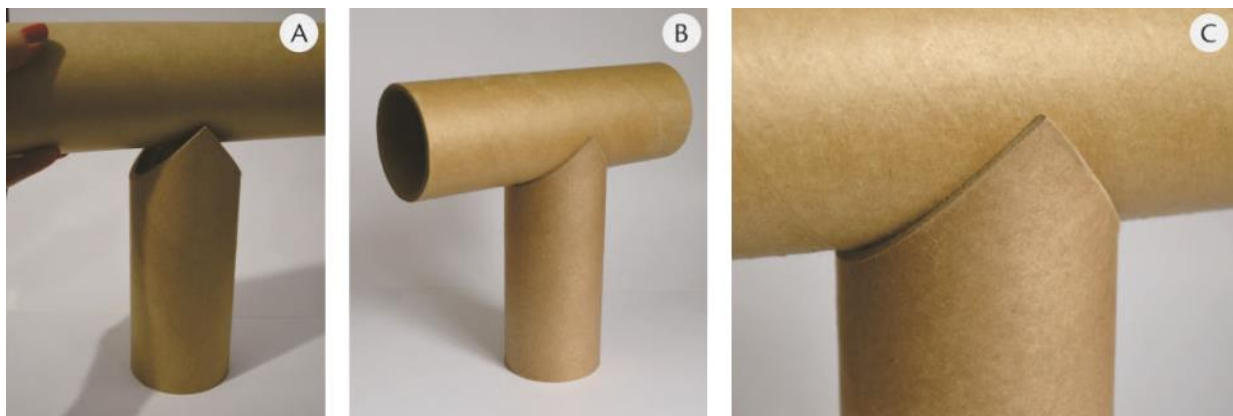


Figura 86 - União perpendicular boca de peixe. (A) Colagem sendo realizada; (B) União finalizada; (C) Detalhe.

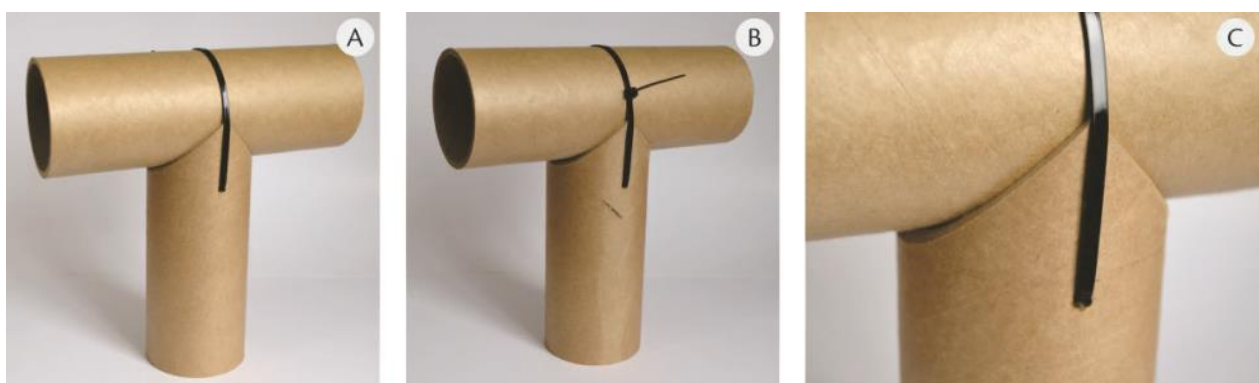


Figura 87 - União perpendicular boca de peixe com abraçadeira. (A) União finalizada; (B) Vista posterior da abraçadeira; (C) Detalhe da união.



Figura 88 - União paralela em trio com abraçadeira. (A) União finalizada; (B) Detalhe da vista superior da união; (C) Simulação de desmontagem da união, cortando a abraçadeira com uma tesoura comum.

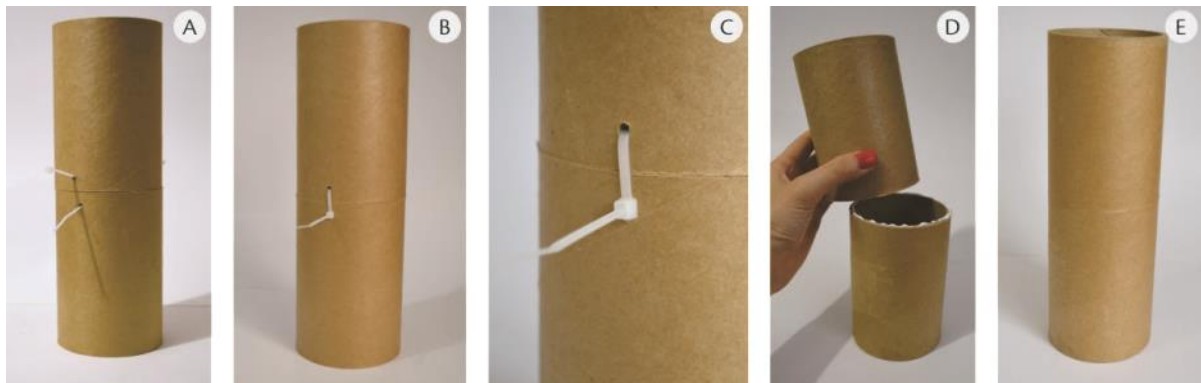


Figura 89 - Uniões de topo. (A) Abraçadeira aberta; (B) União de topo com abraçadeira finalizada; (C) Detalhe da abraçadeira; (D) União de topo colada sendo realizada; (E) União de topo colada finalizada.

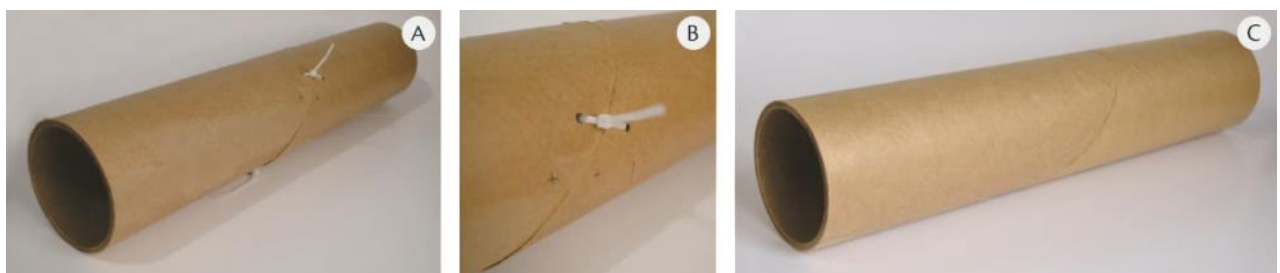


Figura 90 - Uniões em bisel. (A) União com abraçadeira; (B) Detalhe da abraçadeira; (C) União em bisel colada.

Com o intuito de avaliar qualitativamente as uniões realizadas com relação aos aspectos de ecodesign, elaborou-se a tabela de comparação a seguir (Tabela 23), retomando-se alguns critérios de ecodesign e diretrizes para os métodos de união anteriormente apresentados.

Tabela 23 - Avaliação dos métodos de união realizados.

<b>Tipo de união</b>	<b>Prever a desmontagem e a separação das peças</b>	<b>Evitar combinações de materiais</b>	<b>Possibilitar a montagem pelo usuário</b>	<b>Utilizar sistemas de junção removíveis e reversíveis</b>
Uniões coladas	Não é prevista uma maneira de separar ou desmontar as peças.	Não é utilizado outro tipo de material além da cola, que por ser à base de água não é nociva nem contamina os materiais.	Não é possível, já que uma boa colagem depende da utilização do tipo adequado de cola, de pressão e de um tempo de espera.	O sistema de junção utilizado é permanente, não é removível nem reversível: uma vez coladas, as peças não podem mais serem separadas.
Uniões com abraçadeira	A desmontagem e separação das peças é facilmente realizada utilizando-se uma tesoura ou outro dispositivo que possa cortar as abraçadeiras de poliamida.	Esta união utiliza elementos de outro material, necessitando de procedimentos de triagem em caso de reciclagem. Porém, um material não é contaminado pelo outro.	A montagem pode ser realizada pelo usuário, desde que estejam confeccionados os orifícios para passagem das abraçadeiras.	A união realizada com abraçadeira é reversível, facilitando uma possível manutenção, e removível.
União encaixada	As peças são facilmente desmontadas com uma leve aplicação de força em sentidos opostos.	Esta união não utiliza nenhum outro tipo de material, sendo totalmente monomaterialista.	A montagem é facilmente realizada pelo usuário.	A união é removível e reversível.

Percebe-se que as uniões coladas, apesar de evitarem a combinação de diferentes materiais, não são removíveis nem desmontáveis, e dificultam a montagem pelo usuário final. Concluiu-se que a utilização das abraçadeiras de poliamida é uma maneira viável de unir duas ou mais peças de tubos de papelão: é fácil de ser manuseada e travada, pode ser substituída e é um sistema de junção removível, facilmente separado em caso de troca de peças ou de triagem para reciclagem.

Porém, reconheceu-se como sistema de união ambientalmente mais adequado o encaixe em colmeia, que não utiliza nenhum outro tipo de material, é facilmente separado e desmontado e o encaixe é realizado pelo usuário com facilidade. Os cortes necessários à união das peças podem ser realizados através de laser, proporcionando um melhor acabamento e encaixe mais preciso.

A união encaixada em colmeia requer estudos mais aprofundados, de forma a possibilitar a junção de peças posicionadas de outra forma – em quina, de topo, e perpendicular. Os resultados obtidos pelas experimentações das possibilidades de união foram satisfatórios, incentivando a realização de pesquisas mais detalhadas.



## Capítulo 5

# CONSIDERAÇÕES FINAIS

A reutilização é uma maneira de valorizar os diferentes resíduos sem a necessidade de desintegração do material, aproveitando-se a configuração formal, a matéria-prima e a energia agregadas durante o processo de fabricação, bem como as qualidades inerentes ao material que é descartado.

Nesta dissertação, o objeto de estudo foi o tubo de papelão, resíduo descartado principalmente pelos segmentos de confecção e gráfico. Para conhecer suas propriedades e características, identificaram-se parâmetros técnicos de resistência, absorção, recobrimentos e corte a laser, fornecendo assim importantes e necessárias informações que visam facilitar a reutilização deste material no design de produtos.

A fundamentação teórica, no estudo sobre ecodesign e suas diretrizes, apresentou este conceito a partir da problemática do esgotamento dos recursos e aumento dos rejeitos, definindo-o como uma maneira de projetar que considera os aspectos ambientais com tanta relevância quanto os demais requisitos de projeto. Também forneceu os requisitos balizadores a serem utilizados nos ensaios, especialmente em relação aos recobrimentos e métodos de união. Parte-se da premissa de que seguir os preceitos de ecodesign é o ponto de partida em busca de produtos ambientalmente adequados.

O referencial sobre reutilização indicou que esta é a primeira abordagem a ser avaliada quando o resíduo já foi gerado. Pode-se visualizar sua evolução histórica e fizeram-se alguns esclarecimentos em relação à sua aplicação no design, expondo os dois principais momentos em que ela pode ser considerada: no início, como requisito de projeto, onde o produto é desenvolvido já considerando-se sua segunda vida; e no descarte, reiniciando um novo ciclo e um novo produto confeccionado a partir daquela matéria descartada.

Através da visita à indústria fabricante dos tubos de papelão, foram reconhecidas as possibilidades envolvidas na produção, e concluiu-se que estas variáveis estão intimamente ligadas às características e propriedades finais do material. Por exemplo: o tipo, qualidade e gramatura do papel (o papel kraft *liner* possui diferentes propriedades do papel kraft de

segunda, com maior porcentual de fibra reciclada), a espessura da parede e a cola utilizada são opções passíveis de alteração, que, por conseguinte, modificam as qualidades dos produtos gerados.

Ainda no tocante ao material, foi de grande valia reconhecer o estado da arte de seu uso em produtos, expondo algumas das possibilidades que os tubos de papelão oferecem. Pode-se ver que sua principal utilização é no design de mobiliário, conferindo leveza e resistência a peças como bancos, cadeiras e mesas. A exploração dos tubos como elementos construtivos demonstrou o alto potencial deste material em aplicações arquitetônicas, atribuindo rapidez, menor custo e leveza às construções.

O mapeamento do contexto do descarte dos tubos de papelão comprovou que há descarte deste material em quantidade relevante, e que o destino usual é a coleta por catadores de materiais recicláveis. No segmento de confecção, devido ao peso e ao rápido desenrolamento do tecido, geralmente os tubos são descartados em mau estado – quebrados, amassados ou com camadas separando-se. Já no segmento gráfico, percebeu-se uma padronização das medidas do diâmetro interno dos tubos, além de serem mais resistentes e encontrarem-se em melhor estado que os do segmento de confecção.

Este contato direto com as indústrias (apesar de trabalhoso e demorado) foi bastante importante e enriquecedor, já que oportunizou o conhecimento da real situação *in loco*, compreendendo-se e visualizando-se a quantidade de material e os locais onde os tubos são armazenados e descartados. Além disso, pode-se sugerir às empresas que descartam este material todo seu potencial de utilização além do rejeito, como normalmente é visto.

Pela realização dos ensaios técnicos, comprovou-se que os tubos de papelão não necessitam de recobrimentos de proteção ao fogo, já que sua temperatura de decomposição térmica, reconhecida na análise termogravimétrica, foi 210°C – assim, tem-se uma faixa de segurança na utilização dos tubos de papelão no desenvolvimento de produtos.

Com a realização dos ensaios de compressão identificou-se a superioridade da resistência dos tubos com a força sendo aplicada no sentido axial, perpendicularmente ao seu eixo longitudinal. A carga média suportada nos ensaios de compressão axial foi cerca de 19 vezes maior que nos ensaios de compressão diametral, nos tubos de todas as espessuras estudadas, e foi considerada mais que suficiente para viabilizar a utilização dos tubos no design de produtos de uso pessoal.

Apesar de os tubos de papelão terem apresentado um resultado superior no ensaio de compressão axial, não se rejeita a possibilidade de serem utilizados no sentido diametral, desde que seja feita durante o projeto uma boa análise estrutural.

O ensaio de flambagem demonstrou que a falha sofrida é estável (não repentina) e progressiva, aumentando de acordo com o aumento da força de compressão. Estas características são positivas para a aplicação dos tubos em produtos esbeltos, que dependam de boa resistência quando utilizados em grandes comprimentos.

Após a comprovação de que os tubos de papelão são um material higroscópico, com um aumento de aproximadamente 50% na massa dos corpos de prova submetidos a 10 minutos de imersão em água, reconheceu-se que o melhor material à base de água para seu recobrimento e impermeabilização é o verniz marítimo aplicado em três demãos. Os corpos de prova revestidos com este material tiveram um aumento de massa de apenas 6% após 20 minutos de imersão, e criou-se uma barreira protetora de 80µm de espessura, reconhecida através de microscopia eletrônica de varredura.

Porém, o recobrimento com verniz marítimo deixou um aspecto amarelado; caso a intenção seja não alterar visualmente a aparência dos tubos de papelão, deve-se realizar o recobrimento com verniz acrílico em três demãos, cujo resultado de 17,15% de aumento na massa dos corpos de prova após os 20 minutos de imersão também foi considerado satisfatório.

Apesar de se ter considerado o resultado de impermeabilização suficiente, os tubos não tem características para aplicações em produtos para áreas externas que fiquem expostos à intempéries como chuva, vento e sol direto. Não foi realizado o ensaio de absorção em tubos que já haviam sido imersos, e depois secos; podem ocorrer rachaduras que facilitam a penetração de água mesmo após uma primeira imersão bem sucedida.

Os testes de corte a laser indicam a possibilidade da aplicação desta tecnologia nos tubos de papelão. Reconheceu-se a necessidade de proteger a superfície interna, para que o feixe de laser não atravesse a superfície que está sendo cortada e queime a parte interna. As potências entre 50W e 90W realizaram efetivamente os cortes no material. Quanto mais baixa a potência, menor a velocidade que deve ser utilizada para um rompimento eficaz; porém, quanto menor a velocidade, maior o escurecimento da área, já que o laser permanece em contato por um período maior de tempo que em velocidades rápidas.

A espessura dos tubos ensaiados também foi uma variável que alterou os parâmetros de corte: enquanto tubos da espessura 3mm são cortados em velocidades de até 60mm/s em 90W, nos de 6,5mm de espessura a velocidade máxima que produziu o corte foi 20mm/s na mesma potência, ainda assim com coloração bastante escurecida devido à queima.

As experimentações realizadas em relação aos métodos de uniões indicam várias maneiras e posições possíveis de se unirem dois ou mais tubos de papelão; acredita-se que com os

métodos de união estudados é possível elaborar uma variedade de combinações que permitirá a configuração de diversos produtos. Mesmo assim, muitas formas de juntar peças de tubos de papelão ainda podem ser desenvolvidas, utilizando-se outros tipos de encaixes e de elementos de junção.

Dentre as dificuldades encontradas na pesquisa, salienta-se a pouca quantidade de normas específicas para o material tubo de papelão; muitos dos ensaios tiveram que ser adaptados a partir de outras referências. Durante o desenvolvimento do trabalho, surgiram algumas limitações, especialmente em relação aos equipamentos utilizados. O uso de um equipamento de corte e gravação a laser 3D, por exemplo, proporcionaria a execução de cortes complexos e sinuosos sem o problema da perda de foco devido à curvatura cilíndrica, e poderia estimular maiores experimentações e pesquisas.

Por fim, se reconhece que cada modelo de tubo (variação de espessura e diâmetro) tem potencial para ser aplicado em algum tipo de produto, adequando suas propriedades aos requisitos do que está sendo projetado. Com os tubos de papelão, pode-se obter alto desempenho para algumas funções específicas; contudo, é importante que a vida dos materiais esteja ajustada ao tempo de vida do produto.

O estudo e reconhecimento de características peculiares de novos materiais é um ponto determinante para a inserção destes no design. Aspectos culturais relegam o papelão a uma função secundária, como embalagem, por exemplo, e não como matéria prima na fabricação de produtos. Mas essa concepção está mudando, a medida em que encontram referências, se projetam produtos e, principalmente, se descobrem as características deste material.

Considera-se que os objetivos propostos por esta pesquisa foram atingidos; porém, para se validar os parâmetros identificados, seria importante a aplicação do material no desenvolvimento de produtos. No decorrer do trabalho, foram também reconhecidas outras lacunas que podem desdobrar-se em estudos futuros sobre o tema.

## **5.1. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

Para o seguimento do estudo sobre a utilização dos tubos de papelão como material para o design de produto, sugerem-se algumas possibilidades de pesquisa:

- Compilar os dados investigados em um livro ou manual sobre o uso dos tubos de papelão no design de produtos. O desenvolvimento de um material de fácil acesso



e linguagem, com clareza e objetividade nas informações, seria de grande valia para disseminar o conhecimento sobre a utilização deste material.

- Para um melhor entendimento sobre as propriedades dos tubos de papelão, poderiam ser realizados ensaios que determinassem a sua densidade, módulo de elasticidade, dureza e outras informações que tornassem sua caracterização mais completa.
- Para a definição da ferramenta que produz o corte reto mais “limpo” nos tubos, seria pertinente realizar uma comparação entre diferentes equipamentos com discos de corte distintos, variando no número de dentes e no material da lâmina. Este processo diminuiria a necessidade do lixamento após o corte, aumentando a produtividade e reduzindo o tempo na execução.
- Refazer o ensaio de recobrimento, testando a aplicação dos materiais impermeabilizantes somente na borda dos tubos – região considerada mais sensível à penetração de água, pois o papel da superfície externa é mais nobre, e nas bordas as fibras ficam expostas.
- Para uma investigação aprofundada sobre o comportamento dos tubos de papelão em condições reais de uso, os ensaios técnicos poderiam ser realizados com cruzamentos: por exemplo, realizar o ensaio de compressão axial em tubos úmidos e com os diversos recobrimentos.
- Em relação ao estudo do corte a laser, permaneceram algumas lacunas a serem estudadas. Dentre elas, está analisar a interação do material com o laser também na forma de gravação. Além disso, poderiam ser ensaiadas diferentes geometrias de cortes, variando o grau de complexidade e o tamanho dos desenhos. Outro ponto interessante seria a análise do possível perímetro de corte a laser, já que na medida em que o bocal do feixe laser avança na superfície curva do tubo de papelão, perde-se o foco ideal e o corte não é realizado de forma eficiente.
- A absorção de umidade e as alterações provocadas nos tubos de papelão pelas condições climáticas poderiam ser avaliadas de forma mais detalhada através do uso de uma câmara climática, reconhecendo se há ou não a viabilidade de utilização dos tubos de papelão em áreas externas.

- Focando nos métodos de união, sugerem-se aprofundamentos neste ponto, já que as experimentações realizadas visavam somente o reconhecimento das possibilidades de junção; seria interessante produzir corpos de prova de cada tipo de união e executar ensaios de resistência à compressão, flexão e flambagem em cada um deles, de forma a compilar dados científicos que possam comprovar a confecção de uniões resistentes e adequadas a diferentes aplicações.
- Os mesmos ensaios desenvolvidos neste estudo poderiam ser realizados com tubos de papelão novos, de forma a comparar os resultados e analisar se o fato da utilização/estocagem interfere em algum resultado.
- A fim de validar a utilização do referencial de projeto e dos parâmetros estudados, poderiam ser desenvolvidos produtos tendo os tubos de papelão como material principal; também seria interessante avaliar todo o ciclo de vida dos produtos criados, identificando principalmente sua utilização e descarte.
- A proposta deste estudo não foi condicionada a nenhum uso ou aplicação particular; porém, após os ensaios e testes, sugere-se a possibilidade de utilização nas áreas de mobiliário pessoal (bancos, cadeiras, mesas, cabideiros, estantes), utensílios (caixas, organizadores) e brinquedos, já que são resistentes, não tóxicos e leves.

# REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRELPE. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil**. 2012. Disponível em: <<http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2012.pdf>>. Acesso em: 25 jun. 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004**: resíduos sólidos: classificação. Rio de Janeiro, 2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14101**: papel e cartão: tubetes: amostragem para ensaios. Rio de Janeiro, 1998.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14484**: papel e cartão: tubetes: medição das dimensões. Rio de Janeiro, 2000.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14257**: papel e cartão: tubetes: determinação da umidade: método por secagem em estufa. Rio de Janeiro, 1998.
- 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.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11003**: tintas – determinação da aderência. Rio de Janeiro, 2009.
- BARBERO, Silvia; COZZO, Brunela. **Ecodesign**. Barcelona: H. F. Ullman, 2009.
- BARBOSA FILHO, Antonio Nunes. **Projeto e Desenvolvimento de Produtos**. São Paulo: Atlas, 2009.
- BONSIEPE, Gui. **Design como prática de projeto**. São Paulo: Blucher, 2012.
- BRACELPA. **História do papel**. 2007a. Disponível em: <<http://www.bracelpa.org.br/bra/saibamais/historia/index.html>>. Acesso em: 8 dez. 2011.
- BRACELPA. **Dados do setor**. 2013. Disponível em: <<http://www.bracelpa.org.br/bra2/sites/default/files/estatisticas/booklet.pdf>>. Acesso em: 30 jul. 2013.
- BRACELPA. **Processo**. 2007b. Disponível em: <<http://www.bracelpa.org.br/bra2/?q=node/169>>. Acesso em: 8 dez. 2011.
- BRASIL. Decreto-Lei n.º 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de resíduos sólidos, altera a Lei n.º 9.605, de 12 de fevereiro de 1998 e dá outras providências. **Diário Oficial [da União]**, Brasília, DF, 3 ago. 2012, p.2.

BÜRDEK, Bernhard. **História, teoria e prática do design de produtos**. São Paulo: Edgard Blücher, 2006.

CÂNDIDO, Luis Henrique Alves. **Contribuição ao estudo da reutilização, redução e da reciclagem dos materiais com aplicação do ecodesign**. 2008, 126p. Dissertação – Programa de Pós Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

CÂNDIDO, Luis Henrique Alves. **Estudo do ciclo de reciclagem de materiais em blendas acrilonitrila-butadieno-estireno/polycarbonato**. 2011, 129p. Tese – Programa de Pós Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

CANEVAROLO JÚNIOR, Sebastião V. Coord. **Técnicas de caracterização de polímeros**. São Paulo: Artliber, 2007.

CAPRA, Fritjof. **A teia da vida: uma nova compreensão dos sistemas vivos**. São Paulo: Cultrix – Amana Key, 1997.

CARDOSO, Rafael. **Uma introdução à história do design**. São Paulo: Edgard Blücher, 2000.

CARDOSO, Rafael. **Design para um mundo complexo**. São Paulo: Cosac Naify, 2012.

CARDOSO, Maro Túlio; CARNEIRO, Angélica de Cássia Oliveira; OLIVEIRA, Rubens Chaves de; CARVALHO, Ana Márcia Macedo Ladeira; PATRÍCIO JÚNIOR, Wagner; MARTINS, Maria Cristina; SANTOS, Rosimeire Cavalcanti dos; SILVA, Juliana Cristina da. Propriedades físicas e mecânicas de papéis reciclados utilizados para fabricação de tubetes. **In: Ciência Florestal Santa Maria**, v 22, n 2, abr-jun 2012, p. 403-411.

FAZENDA, Jorge M. R (coord.). **Tintas e vernizes: ciência e tecnologia**. São Paulo: Edgard Blücher, 2005.

FEPAM. **Biblioteca Digital**. Disponível em: <<http://www.fepam.rs.gov.br/biblioteca/rsi.asp>>. Acesso em: jul. 2012.

FOELKEL, Celso. **Pinnusletter**. Disponível em: <<http://www.celsofoelkel.com.br/pinusletter>>. Acesso em: jul. 2012.

FORM IN VOID. **Products**. Disponível em: <<http://forminvoid.com/projects.html>>. Acesso em: 15 jul. 2013.

FREIRE DIAS, Genebaldo. **Eco percepção: um resumo didático dos desafios socioambientais**. São Paulo: Gaia, 2004.

FUAD-LUKE, Alastair. **The eco-design handbook: a complete sourcebook for the home and office**. London: Thames & Hudson, 2004 (new edition).

GERHARDT T.D.; QIU Y.P.; WANG Y.; JOHNSON C.G.; McCARTHY M; RHODES D.E. Engineering paper tubes to improve winding performance. mechanics of cellulosic materials. **ASME Joint Applied Mechanics and Materials Division Meeting Blacksburg**, VA, USA; June 27–30 1999. p. 159–76

GOMES, Daniel Duarte Townsend de Carvalho. **O r em design**: a reutilização aplicada ao design. 2011, 104p. Dissertação – Mestrado em Design Industrial – Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Portugal, 2011.

GOOGLE IMAGENS. **Artesanato com rolos de papelão**. 2012. Disponível em: <<https://www.google.com.br/search?q=artesanato+rolo+de+papel%C3%A3o&oe=utf-8&aq=t&rls=org.mozilla:pt-BR:official&client=firefox-a&um=1&ie=UTF-8&hl=pt-BR&tbm=isch&source=og&sa=N&tab=wi&ei=xZ59ULCeBYys8ATStoFg&biw=1525&bih=714&sei=y559UI-JMISs9ASbt4HgBQ>>. Acesso em: 16 out 2012.

HECMEC. **Products**. 2012. Disponível em: <[http://www.hecmec.jp/hp\\_english/series.html](http://www.hecmec.jp/hp_english/series.html)>. Acesso em: 14 out. 2012.

INHABITAT. **Heineken Wobo**. 2011. Disponível em: <<http://inhabitat.com/heineken-wobo-the-brick-that-holds-beer/>>. Acesso em: 15 out. 2012.

KAZAZIAN, Thierry (organiz.) **Haverá a idade das coisas leves**: design e desenvolvimento sustentável. 2. ed. Tradução de Eric Roland Rene Heneault. São Paulo: Senac, 2005.

KINDLEIN JÚNIOR, Wilson, CÂNDIDO, Luis Henrique Alves. **Design de produto e aplicação de sistemas de junção para desmontagem**. 2008. Disponível em: <[http://www.livrosgratis.com.br/arquivos\\_livros/ea000431.pdf](http://www.livrosgratis.com.br/arquivos_livros/ea000431.pdf)>. Acesso em: 10 abr. 2012.

KINDLEIN JÚNIOR, Wilson. *et al.* **Princípios Básicos de Junção Utilizados em Sistemas e Subsistemas de Produtos Industriais e sua Importância no Desenvolvimento Sustentável**. In: ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA EM AMBIENTE E SOCIEDADE, 1., 2002, Campinas. Anais. SÃO PAULO, 2002. CD-ROM.

KRUCKEN, Lia. **Design e território**: valorização de identidades e produtos locais. São Paulo: Studio Nobel, 2009.

LARICA, Neville Jordan. **Design de transportes**: arte em função da mobilidade. Rio de Janeiro: 2AB, 2003.

LAVERDE, Albenise; SALADO, Gerusa de Cássia. Construção de uma cúpula geodésica com tubos de papelão: uma experiência na Universidade Federal de Uberlândia – UFU/MG. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA, 15, 2012, Belém/Pará. **Anais eletrônicos...** Disponível em: <<http://www.abenge.org.br/CobengeAnteriores/2012/artigos/103924.pdf>>. Acesso em: 21 ago. 2013.

LEONARD, Annie. **A história das coisas**: da natureza ao lixo, o que acontece com tudo o que consumimos. Tradução Heloisa Mourão. Rio de Janeiro: Zahar, 2011.

LJUNGBERG, Lennart. Materials selection and design for development of sustainable products. In: **Materials and Design**, n 28, 2007, p. 466-479.

LÖBACH, Bernd. **Design industrial: bases para a configuração dos produtos industriais**. São Paulo: Edgard Blücher, 2001.

LÓPEZ, Oscar Hidalgo. **Manual de construcción com bambu**. Colômbia: Estudios Técnicos Colombianos Ltda, Universidad Nacional de Colombia y Centro de Investigación de Bambu e Madera, 1981.

MANZINI, Ezio; VEZZOLI, Carlo. **O desenvolvimento de produtos sustentáveis: os requisitos ambientais dos produtos industriais**. São Paulo: EDUSP, 2002.

NENNEWITZ, Ingo; NUTSCH, Wolfgang; PESCHEL, Peter; SEIFERT, Gerhard. **Manual de tecnologia da madeira**. São Paulo: Edgard Blücher, 2008.

NIDO CAMPOLONGO. **Design no cenário sustentável**. 2012. Disponível em: <<http://www.nidocampolongo.com.br>>. Acesso em: 18 mar. 2012.

OSCAR DIAZ. **Tube Toys**. 2012. Disponível em: <<http://www.oscar-diaz.net/?p=1437>>. Acesso em: 14 out. 2012.

PAPANEEK, Victor. **Arquitetura e design: ecologia e ética**. Lisboa: Edições 70, 1995.

PETUTSCHNIGG, Alexander Johannes; EBNER, Michael. Lightweight paper materials for furniture – a design study to develop and evaluate materials and joints. In: **Materials & Design**, n 28, 2007, p. 408-413.

PICCOLI, Mariana. **A reutilização de resíduos industriais como base para o desenvolvimento de produtos**. 2010. 180p. Monografia (Graduação em Desenho Industrial – Projeto de Produto) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

PIGOSSO, Daniela C.A; ZANETTE, Evelyn T; GUELERE FILHO, Américo; OMETTO, Aldo R.; ROZENFELD, Henrique. Ecodesign methods focused on remanufacturing. In: **Journal of Cleaner Production**, n 18, 2010, p. 21-31.

POMADA WEB. **Productos**. 2012. Disponível em: <<http://pomadaweb.com/>>. Acesso em: 14 out. 2012.

PRESTON, Steven J; BANK, Lawrence C. Portals to an Architecture: Design of a temporary structure with paper tubes. In: **Construction and Building Materials**, n 30, 2012, p. 657-666.

PRIMO TEDESCO. **Productos. 2008**. Disponível em: <[http://www.primotedesco.com.br/por/produtos\\_papel.php#papel\\_1](http://www.primotedesco.com.br/por/produtos_papel.php#papel_1)>. Acesso em: 10 jul. 2012.

PROCTOR, Rebecca. **Diseño ecológico: 1000 ejemplos**. Barcelona: Gustavo Gili, 2009.

QUINTAL, Ana Patrícia Rodrigues. **Reutilização e reciclagem de materiais:** laboratório de construção. 2010, 153p. Dissertação – Mestrado Integrado em Arquitectura, Faculdade de Arquitectura da Universidade do Porto, Porto, 2011.

RASEIRA, Cristine Bassols. **Design e tecnologia aplicados a resíduos de madeira: especificações para o processo de corte a laser em marchetaria.** 2013. 168p. Dissertação – Programa de Pós Graduação em Design – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

REDIG, Joaquim. **Sobre Desenho Industrial.** Rio de Janeiro: ESDI, 1977.

SALADO, Gerusa de Cássia. **Construindo com tubos de papelão:** um estudo da tecnologia desenvolvida por Shigeru Ban. 2006, 198p. Dissertação – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

SALADO, Gerusa de Cássia. **Painel de vedação vertical de tubos de papelão:** estudo, proposta e análise de desempenho. 2011, 290p. Tese – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011

SANTOS, Aguinaldo dos *et al.* **Design em papelão ondulado.** Série Design Sustentável Brasil. Curitiba: UFPR, 2006.

SINDIGRAF. **Gráficas.** Disponível em: <<http://sindigraf-rs.com.br/graficas/>>. Acesso em: 26 jul. 2013.

SUPER LIMÃO. **Catálogo.** 2010. Formato JPEG. Disponível em: <<http://www.superlimao.com.br/main.html>>. Acesso em: 14 jan. 2012.

TOOBALINK. **Toobalink Starter Kit.** 2012. Disponível em: <<http://www.toobalink.com/shop/index.php?route=common/home>>. Acesso em: 14 out. 2012.

VACCARI, Mirian Sayuri. Habitação ecológica e econômica em papel. In: ENECS – ENCONTRO NACIONAL SOBRE EDIFICAÇÕES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS, 3, 2003, São Carlos/SP. **Anais eletrônicos...** Disponível em: <[http://www.elecs2013.ufpr.br/wp-content/uploads/anais/2003/2003\\_artigo\\_055.pdf](http://www.elecs2013.ufpr.br/wp-content/uploads/anais/2003/2003_artigo_055.pdf)>. Acesso em 28 out. 2013.

WALDMAN, Maurício. **Lixo:** cenários e desafios: abordagens básicas para entender os resíduos sólidos. São Paulo: Cortez, 2010.





Apêndice A

**FORMULÁRIO PARA ENTREVISTA SOBRE A PRODUÇÃO DE RESÍDUOS**



## Apêndice B

# ABSORÇÃO DE ÁGUA EM FUNÇÃO DO TEMPO

Tabela B1 - Valores de absorção de água em função do tempo em corpos de prova de 3mm de espessura.

3mm espessura (valores em gramas)						
Corpo de prova	1	2	3	4	5	Média
Massa úmida	46,22	48,34	45,83	47,78	46,97	47,02
24h secagem	42,49	44,49	42,09	43,96	42,78	43,16
48 secagem	42,14	44,11	41,72	43,56	42,12	42,73
10s imersão	46,37	50,33	45,38	49,19	52,01	48,65
30s imersão	48,67	55,02	46,97	53,64	59,18	52,69
1min imersão	49,46	60,25	48,25	59,23	67,96	57,03
5min imersão	51,99	74,29	51,44	71,57	100,64	69,98
10min imersão	54,65	95,38	53,52	90,73	113,10	81,47

Tabela B2 - Valores de absorção de água em função do tempo em corpos de prova de 4mm de espessura.

4mm espessura (valores em gramas)						
Corpo de prova	1	2	3	4	5	Média
Massa úmida	67,20	66,87	66,95	66,89	67,19	67,02
24h secagem	61,11	60,88	61,06	61,13	61,24	61,08
48 secagem	60,98	60,79	60,95	60,92	61,15	60,95
10s imersão	65,05	64,30	64,85	64,50	64,55	64,65
30s imersão	70,59	68,57	71,17	69,77	70,93	70,20
1min imersão	74,18	73,16	75,54	73,30	74,84	74,20
5min imersão	80,01	79,15	78,84	80,08	79,84	79,58
10min imersão	82,41	82,51	83,20	82,97	82,73	82,76

Tabela B3 - Valores de absorção de água em função do tempo em corpos de prova de 5mm de espessura.

5mm espessura (valores em gramas)						
Corpo de prova	1	2	3	4	5	Média
Massa úmida	87,27	90,94	90,47	85,82	86,98	87,29
24h secagem	80,60	86,03	83,17	79,41	80,67	81,97
48 secagem	80,28	85,76	82,81	79,04	80,31	81,64
10s imersão	88,51	97,96	88,78	88,71	89,36	90,66
30s imersão	95,52	106,25	91,20	95,86	95,56	96,87
1min imersão	101,84	113,27	93,78	102,65	102,16	102,74
5min imersão	117,80	132,79	98,45	120,85	120,69	118,11
10min imersão	132,75	148,25	103,85	135,13	135,82	131,16

Tabela B4 - Valores de absorção de água em função do tempo em corpos de prova de 6,5mm de espessura.

<b>6,5mm espessura (valores em gramas)</b>						
<b>Corpo de prova</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>Média</b>
Massa úmida	127,02	127,78	128,93	128,65	128,75	128,22
24h secagem	114,30	115,80	119,05	118,56	118,40	117,22
48 secagem	113,77	115,45	118,46	118,12	118,17	116,79
10s imersão	139,80	139,07	128,69	128,28	127,22	132,61
30s imersão	154,05	157,81	135,47	133,46	133,53	142,86
1min imersão	169,18	172,89	141,32	140,20	139,69	152,65
5min imersão	207,08	209,62	158,62	157,48	157,20	178
10min imersão	>210	>210	172,93	171,33	172,61	187,34

## Apêndice C

### RECOBRIMENTOS - ABSORÇÃO DE ÁGUA EM FUNÇÃO DO TEMPO

Tabela C1 - Valores de absorção de água em corpos de prova sem revestimento.

<b>Sem revestimento (valores em gramas)</b>							
<b>Corpo de prova</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>Média</b>	<b>D.P.</b>
Massa úmida	93,22	94,48	94,16	94,28	84,27	92,08	4,39
Equilíbrio umidade	92,53	93,80	93,33	93,47	83,59	91,34	4,35
10s imersão	100,31	101,25	103,80	103,80	88,63	99,55	6,30
30s imersão	108,15	108,77	112,12	112,15	95,04	107,24	7,06
1min imersão	115,66	115,08	118,86	118,56	101,91	114,01	6,97
5min imersão	136,76	139,44	138,75	138,46	117,66	134,21	9,30
10min imersão	157,12	158,70	158,97	160,40	131,09	153,25	12,44
20min imersão	175,86	177,58	189,99	191,48	152,34	177,45	15,70

Tabela C2 - Valores de absorção de água em corpos de prova revestidos com verniz acrílico em duas demãos.

<b>Verniz acrílico 2 demãos (valores em gramas)</b>							
<b>Corpo de prova</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>Média</b>	<b>D.P.</b>
Massa constante	87,11	84,19	88,48	84,46	87,49	86,34	1,91
Massa revestimento	87,89	84,82	89,20	85,06	88,21	87,03	1,97
10s imersão	89,38	86,24	90,08	86,68	88,71	88,21	1,68
30s imersão	90,50	87,25	90,81	87,51	89,62	89,13	1,66
1min imersão	91,48	88,55	92,22	89,23	91,06	90,50	1,55
5min imersão	98,81	93,64	96,97	93,62	96,13	95,83	2,23
10min imersão	105,28	99,23	103,43	99,14	101,79	101,77	2,66
20min imersão	115,85	109,93	114,58	111,21	112,96	112,90	2,40

Tabela C3 - Valores de absorção de água em corpos de prova revestidos com verniz acrílico em três demãos.

<b>Verniz acrílico 3 demãos (valores em gramas)</b>							
<b>Corpo de prova</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>Média</b>	<b>D.P.</b>
Massa constante	84,48	88,60	83,31	83,02	82,64	84,41	2,44
Massa revestimento	85,67	89,69	84,50	84,09	83,55	85,50	2,46
10s imersão	86,19	90,01	85,22	85,00	84,72	86,22	2,18
30s imersão	86,93	90,17	86,44	86,61	85,52	87,13	1,77
1min imersão	87,32	90,67	87,79	88,35	86,99	88,22	1,46
5min imersão	88,92	92,40	91,73	92,25	90,31	91,12	1,48
10min imersão	90,80	95,00	96,02	96,69	94,00	94,50	2,30
20min imersão	94,47	99,70	102,98	104,01	99,73	100,17	3,72

Tabela C4 - Valores de absorção de água em corpos de prova revestidos com termolina em duas demãos.

<b>Termolina 2 demãos (valores em gramas)</b>							
<b>Corpo de prova</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>Média</b>	<b>D.P.</b>
Massa constante	92,53	94,59	88,20	94,33	95,68	93,06	2,94
Massa recobrimento	93,59	95,41	89,18	95,11	96,69	93,99	2,90
10s imersão	97,72	96,48	91,13	97,50	99,08	96,38	3,07
30s imersão	100,29	97,56	92,68	99,14	101,31	98,19	3,38
1min imersão	103,03	100,18	94,11	100,40	102,62	100,06	3,56
5min imersão	108,98	108,61	98,23	104,10	111,18	106,21	5,15
10min imersão	122,43	114,40	102,07	107,81	118,89	113,12	8,24
20min imersão	138,31	129,38	109,11	114,15	127,35	123,66	11,86

Tabela C5 - Valores de absorção de água em corpos de prova revestidos com termolina em três demãos.

<b>Termolina 3 demãos (valores em gramas)</b>							
<b>Corpo de prova</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>Média</b>	<b>D.P.</b>
Massa constante	84,12	92,80	88,37	92,45	88,61	89,27	3,54
Massa recobrimento	85,18	93,94	89,56	93,80	89,68	90,43	3,62
10s imersão	86,98	97,88	91,84	97,97	91,62	93,25	4,68
30s imersão	87,90	100,82	93,41	101,02	93,89	95,40	5,55
1min imersão	89,28	102,87	94,92	104,15	95,62	97,36	6,13
5min imersão	92,01	109,60	99,07	113,71	101,19	103,11	8,62
10min imersão	93,79	116,37	104,74	125,23	106,53	109,33	11,96
20min imersão	96,69	125,48	111,00	134,67	115,41	116,65	14,44

Tabela C6 - Valores de absorção de água em corpos de prova revestidos com verniz marítimo em duas demãos.

<b>Verniz marítimo 2 demãos (valores em gramas)</b>							
<b>Corpo de prova</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>Média</b>	<b>D.P.</b>
Massa constante	94,77	91,46	90,74	94,27	94,85	93,21	1,96
Massa recobrimento	96,37	92,86	92,25	95,68	96,61	94,75	2,04
10s imersão	97,44	94,32	94,05	97,55	97,89	96,25	1,89
30s imersão	98,85	94,61	95,15	98,32	98,80	97,14	2,08
1min imersão	100,52	95,57	95,80	99,21	99,65	98,15	2,30
5min imersão	103,33	97,76	99,62	100,19	101,42	100,46	2,07
10min imersão	108,18	99,81	104,40	102,28	102,25	103,38	3,13
20min imersão	113,48	104,28	111,37	105,86	103,63	107,72	4,43

Tabela C7 - Valores de absorção de água em corpos de prova revestidos com verniz marítimo em três demãos.

<b>Verniz marítimo 3 demãos (valores em gramas)</b>							
<b>Corpo de prova</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>Média</b>	<b>D.P.</b>
Massa constante	95,13	82,85	83,28	91,67	92,65	89,11	5,66
Massa recobrimento	97,50	85,15	85,49	93,92	95,04	91,42	5,71
10s imersão	98,13	85,51	85,49	94,50	96,05	91,93	6,01
30s imersão	98,34	85,53	86,65	95,76	96,59	92,57	6,00
1min imersão	98,99	85,54	86,70	96,57	97,06	92,97	6,33
5min imersão	101,93	85,60	89,06	98,25	99,76	94,92	7,15
10min imersão	104,22	85,60	91,06	100,29	100,31	96,29	7,69
20min imersão	106,85	85,69	91,51	100,43	101,40	97,17	8,45

Tabela C8 - Valores de absorção de água em corpos de prova revestidos com tinta acrílica em duas demãos.

<b>Tinta acrílica 2 demãos (valores em gramas)</b>							
<b>Corpo de prova</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>Média</b>	<b>D.P.</b>
Massa constante	92,29	96,76	91,11	96,80	86,68	92,72	4,24
Massa recobrimento	93,44	97,82	92,14	97,77	87,77	93,78	4,21
10s imersão	97,54	99,28	94,50	100,05	89,50	96,17	4,29
30s imersão	102,35	100,46	96,92	102,14	91,57	98,68	4,53
1min imersão	106,54	101,09	98,67	104,06	93,74	100,82	4,95
5min imersão	123,05	105,58	106,63	108,68	100,88	108,96	8,37
10min imersão	138,60	110,10	117,55	112,47	108,02	117,34	12,39
20min imersão	153,24	115,32	132,26	120,32	117,98	127,82	15,61

Tabela C9 - Valores de absorção de água em corpos de prova revestidos com tinta acrílica em três demãos.

<b>Tinta acrílica 3 demãos (valores em gramas)</b>							
<b>Corpo de prova</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>Média</b>	<b>D.P.</b>
Massa constante	82,74	88,39	91,13	92,45	94,00	89,74	4,42
Massa recobrimento	84,49	90,11	92,77	94,37	95,82	91,51	4,46
10s imersão	85,17	91,59	94,00	96,73	97,98	93,09	5,07
30s imersão	86,34	92,45	95,33	99,05	99,53	94,54	5,41
1min imersão	87,38	93,57	96,29	101,80	100,38	95,88	5,76
5min imersão	90,35	95,36	97,97	109,48	103,29	99,28	7,36
10min imersão	93,44	97,15	100,50	117,35	106,50	102,98	9,35
20min imersão	101,78	99,00	106,00	128,08	112,21	109,41	11,56

Tabela C10 - Valores de absorção de água em corpos de prova revestidos com tinta esmalte em duas demãos.

<b>Tinta esmalte 2 demãos (valores em gramas)</b>							
<b>Corpo de prova</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>Média</b>	<b>D.P.</b>
Massa constante	96,62	92,58	96,75	87,36	96,71	94,00	4,11
Massa recobrimento	97,30	93,37	97,44	88,35	97,57	94,80	4,01
10s imersão	98,41	96,97	98,82	90,67	99,29	96,83	3,55
30s imersão	99,03	99,77	99,85	92,51	101,20	98,47	3,42
1min imersão	99,87	102,59	100,91	94,60	102,38	100,07	3,25
5min imersão	102,81	111,97	103,91	109,93	107,82	107,28	3,89
10min imersão	105,31	121,18	107,63	111,42	113,93	111,89	6,16
20min imersão	109,68	139,62	113,16	125,37	123,57	122,28	11,76

Tabela C11 - Valores de absorção de água em corpos de prova revestidos com tinta esmalte em três demãos.

<b>Tinta esmalte 3 demãos (valores em gramas)</b>							
<b>Corpo de prova</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>Média</b>	<b>D.P.</b>
Massa constante	94,39	82,70	96,40	82,93	88,27	88,93	6,34
Massa recobrimento	96,23	84,20	98,02	84,71	90,06	90,64	6,37
10s imersão	96,73	85,64	98,71	85,38	91,84	91,66	6,14
30s imersão	98,04	87,35	98,95	85,73	93,18	92,65	6,02
1min imersão	98,90	88,60	99,02	85,99	93,75	93,25	5,91
5min imersão	99,02	93,63	99,55	87,00	96,76	95,19	5,13
10min imersão	99,69	99,00	100,04	88,14	100,16	97,40	5,19
20min imersão	102,94	107,17	100,91	90,04	105,21	101,25	6,69

Tabela C12 - Valores de absorção de água em corpos de prova revestidos com resina multiuso em duas demãos.

<b>Resina multiuso 2 demãos (valores em gramas)</b>							
<b>Corpo de prova</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>Média</b>	<b>D.P.</b>
Massa constante	96,34	87,09	94,17	82,24	87,48	89,46	5,72
Massa recobrimento	96,95	88,15	95,00	83,07	88,62	90,35	5,61
10s imersão	98,77	92,30	98,30	85,10	93,33	93,56	5,54
30s imersão	100,16	95,87	100,43	87,79	96,69	96,18	5,11
1min imersão	101,56	99,30	102,43	90,50	100,07	98,77	4,78
5min imersão	106,52	109,06	108,49	97,70	110,35	106,42	5,06
10min imersão	112,14	117,92	114,87	109,14	120,13	114,84	4,39
20min imersão	121,11	130,82	121,73	126,69	135,83	127,23	6,22



Tabela C13 - Valores de absorção de água em corpos de prova revestidos com resina multiuso em três demãos.

<b>Resina multiuso 3 demãos (valores em gramas)</b>							
<b>Corpo de prova</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>Média</b>	<b>D.P.</b>
Massa constante	84,10	86,90	92,52	93,14	91,80	89,69	3,98
Massa recobrimento	85,28	88,32	93,77	94,55	92,97	90,97	4
10s imersão	87,01	90,11	97,37	99,10	95,40	93,79	5,07
30s imersão	88,67	92,06	101,07	102,83	99,09	96,74	6,09
1min imersão	90,11	94,12	104,37	106,41	102,25	99,45	7
5min imersão	94,44	101,25	118,60	116,64	115,41	109,26	10,76
10min imersão	97,07	107,26	129,51	126,58	120,07	116,09	13,65
20min imersão	99,72	116,57	143,50	139,08	131,87	126,14	17,96