A extração cada vez maior de recursos da natureza e o grande volume de lixo descartado nos aterros sanitários alertam para a necessidade de se promover a reciclagem e a reutilização de resíduos para se gerarem novos materiais, inclusive, no setor da construção civil.

Com base nisso e a partir de um estudo sobre as obras arquitetônicas em que Shigeru Ban construiu painéis de vedação com tubos de papelão, este trabalho desenvolveu uma proposta de painéis de vedação vertical de tubos de papelão e fez uma avaliação do seu desempenho estrutural visando a sua utilização no Brasil.

Foram realizados ensaios técnicos para avaliar o painel de vedação vertical de tubos de papelão proposto, no que se refere à sua resistência mecânica e ao seu comportamento quando submetido às principais ações sofridas por um painel de vedação vertical.

Também foi construída uma célula-teste para avaliar o desempenho técnico e estrutural do painel de vedação vertical de tubos de papelão proposto quando submetido a situações reais de exposição.

Os dados obtidos em ambas as avaliações foram levados em consideração para verificar o desempenho geral do painel que se propôs, possibilitando concluir se este é apto ao seu emprego na construção civil no Brasil, e sugerir alguns usos e aplicações para o mesmo.

Painel de Vedação Vertical de Tubos de Papelão: Estudo, proposta e análise de desempenho

Gerusa de C. Salado

Painel de Vedação Vertical de Tubos de Papelão:

Estudo, proposta e
análise de desempenho

Gerusa de Cássia Salado
Orient. Profº Titular Eduvaldo Paulo Sichieri

Universidade de São Paulo
Escola de Engenharia de São Carlos
Departamento de Arquitetura e Urbanismo

PAINEL DE VEDAÇÃO VERTICAL DE TUBOS DE PAPELÃO:

ESTUDO, PROPOSTA E ANÁLISE DE DESEMPENHO

GERUSA DE CÁSSIA SALADO

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor.

(versão corrigida)

Área de concentração:
Tecnologia do Ambiente Construído

Orientador:
Prof. Titular EDUVALDO PAULO SICHIERI

São Carlos
2011

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento
da Informação do Serviço de Biblioteca – EESC/USP

Salado, Gerusa de Cássia
S159p Painel de vedação vertical de tubos de papelão : estudo, proposta e análise de desempenho / Gerusa de Cássia Salado ; orientador Eduvaldo Paulo Sichieri. — São Carlos, 2011.

Tese (Doutorado - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo e Área de Concentração em Tecnologia do Ambiente Construído) — Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2011.

1. Materiais de construção alternativos. 2. Materiais de construção sustentáveis. 3. Painel de vedação vertical. 4. Tubos de papelão. I. Título.

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidato(a): Arquiteto e Urbanista GERUSA DE CÁSSIA SALADO.

Tese defendida e julgada em 29/04/2011 perante a Comissão Julgadora:

Prof. Titular **EDUYALDO PAULO SICHIERI - (Orientador)**
(Instituto de Arquitetura e Urbanismo/USP)

Aprovada

Prof. Associado **JOÃO ADRIANO ROSSIGNOLO**
(Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos/USP)

APROVADO

Prof. Dr. **JAVIER MAZARIEGOS PABLOS**
(Instituto de Arquitetura e Urbanismo/USP)

Aprovada

Prof. Dr. **JULIANO FIORELLI**
(Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos/USP)

APROVADO

Prof. Associado **ALMIR SALES**
(Universidade Federal de São Carlos/UFSCar)

APROVADA

Prof. Titular **RENATO LUIZ SOBRAL ANELLI**
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em
Arquitetura e Urbanismo

Prof. Associado **PAULO CÉSAR LIMA SEGANTINE**
Presidente da Comissão da Pós-Graduação da EESC

"O papel também pode ser forte e duradouro. O tubo de papelão é a 'madeira evoluída' "

Shigeru Ban

Dedico este trabalho

*Aos meus pais Rita e Gerson por sempre
me incentivarem aos estudos e serem meus
maiores exemplos na vida, de coragem,
garra e superação.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço,

à FAPESP – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, pelo apoio ao desenvolvimento deste trabalho;

ao meu orientador, Eduvaldo Paulo Sichieri, por me dar força e incentivar sempre, pela parceria, e pela credibilidade que me depositou;

à Zelepel Indústria e Comércio de Artefatos de Papel S/A, e em especial ao Sr. Paulo Cavalcanti e ao Sr. Aguinaldo Jacomini, por me fornecerem informações e materiais necessários para o desenvolvimento desta pesquisa;

aos funcionários do Laboratório de Construção Civil e do Laboratório de Maquete da EESC-USP, Sérgio Trevelin, Paulo Pratavieira, Paulo Albertini, José Renato Dibo e Odinei Canevarollo pela dedicação e capricho na montagem e execução dos ensaios técnicos realizados e da célula-teste;

aos funcionários do Departamento de Arquitetura e Urbanismo da EESC-USP, Marcelo Celestini, Sérgio Celestini, Geraldo Pereira, Paulo Ceneviva, Oswaldo de Andrade e Evandro Bueno por todo o auxílio prestado;

aos amigos Marieli Lukiantchuki, Josiane Nogueira, Maiara Nicolau, Debora Verniz, Rodrigo Sartori, Mônica Farias, Kelen Dornelles, Mayara Dias, Ana Carolina Fróes e Érica Cunha pelo companheirismo e amizade nesses anos vividos em São Carlos e por toda a ajuda;

aos amigos Valter Luís Caldana Jr, Dominique Fretin, Mônica Junqueira, Maria Augusta J. Pisani, Ivana Bedendo e Célia Meirelles por serem minhas eternas referências e grandes mestres, cujo convívio e conseqüente admiração foram de grande peso na minha escolha por esta carreira;

à minha amada família, minha mãe Rita, meu pai Gerson, meus irmãos Rigeria e Thiago, pela paciência, compreensão, incentivo e companhia em todos os momentos.

Obrigada a todos, por tudo, sempre!

Gerusa Salado.

RESUMO

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

A extração cada vez maior de recursos da natureza e o grande volume de lixo descartado nos aterros sanitários alertam para a necessidade de se promover a reciclagem e a reutilização de resíduos para se gerarem novos materiais, inclusive, no setor da construção civil.

Com base nisso e a partir de um estudo sobre as obras arquitetônicas em que Shigeru Ban construiu painéis de vedação com tubos de papelão, este trabalho desenvolveu uma proposta de painéis de vedação vertical de tubos de papelão e fez uma avaliação do seu desempenho estrutural visando a sua utilização no Brasil.

Foram realizados ensaios técnicos para avaliar o painel de vedação vertical de tubos de papelão proposto, no que se refere à sua resistência mecânica e ao seu comportamento quando submetido às principais ações sofridas por um painel de vedação vertical.

Também foi construída uma célula-teste para avaliar o desempenho técnico e estrutural do painel de vedação vertical de tubos de papelão proposto quando submetido a situações reais de exposição.

Os dados obtidos em ambas as avaliações foram levados em consideração para verificar o desempenho geral do painel que se propôs, possibilitando concluir se este é apto ao seu emprego na construção civil no Brasil, e sugerir alguns usos e aplicações para o mesmo.

Palavras-chave: Materiais de construção alternativos, painel de vedação vertical, tubos de papelão, materiais de construção sustentáveis.

ABSTRACT

SALADO, G. C. **Vertical sealing cardboard tubes panel: study, proposal and performance analysis.** Thesis (Ph.D). São Carlos: University of São Paulo, Engineering School of São Carlos, 2011.

The increasing extraction of nature resources and the large volume of waste discarded in landfills call for the need to promote recycling and reuse of waste to create new materials, inclusive in the construction industry.

Considering this aspect and from a study of the architectural masterpieces where Shigeru Ban built sealing cardboard tubes panels, this study developed a proposal for vertical sealing cardboard tubes panels and assessed their structural performance having in mind their use in Brazil.

Technical tests were conducted to evaluate the proposed vertical sealing cardboard tubes panel regarding its mechanical resistance and behavior when submitted to the main actions suffered by a vertical sealing panel.

A test cell was also built to evaluate the structural and technical performance of the proposed vertical sealing cardboard tubes panel when submitted to real exposure situations.

Data obtained in both evaluations were taken into consideration to verify the general performance of the proposed panel, allowing to conclude whether this is suitable for being used in civil construction in Brazil, and to suggest some usage and applications for it.

Keywords: alternative building materials, vertical sealing panel, cardboard tubes, sustainable building materials.

SUMÁRIO

Agradecimentos.....	ix
Resumo.....	xi
Abstract.....	xiii
1. Introdução.....	01
1.1. Considerações iniciais.....	01
1.2. Proposta e importância do estudo.....	03
1.3. Objetivos do trabalho.....	05
1.4. Definição de conceitos.....	06
1.5. Conteúdo do trabalho.....	10
2. A preocupação ambiental e o uso de resíduos na construção civil.....	13
2.1. A Arquitetura e a preocupação com o meio ambiente.....	14
2.2. O acúmulo de resíduos no Brasil e no mundo.....	15
2.3. A preservação ambiental e o uso de resíduos na construção civil.....	20
2.3.1. O uso de resíduos em painéis de vedação vertical.....	24
3. A reutilização de papéis descartados na construção civil.....	27
3.1. A produção de celulose e papel no Brasil e a reciclagem.....	28
3.2. Os produtos gerados com papel reciclado para a construção civil e a Arquitetura no Brasil.....	30
3.3. O uso de tubos de papelão como elementos de vedação e estrutura no mundo.....	38
3.3.1. O uso de tubos de papelão por Shigeru Ban em suas obras arquitetônicas.....	40
3.3.2. O estudo dos tubos de papelão no Brasil.....	48
4. Os painéis de vedação vertical de tubos de papelão executados por Shigeru Ban.....	55

4.1. Obras de Shigeru Ban utilizando painéis de vedação vertical de tubos de papelão.....	57
4.1.1. Residências emergenciais em Kobe (Japão).....	58
4.1.2. Residências emergenciais em Kaynasli (Turquia).....	67
4.1.3. Residências emergenciais em Bhuj (Índia).....	74
4.2. Considerações finais sobre os painéis de vedação vertical de tubos de papelão executados por Shigeru Ban.....	81
5. Proposta de painel de vedação vertical de tubos de papelão.....	85
5.1. Fatores considerados para a proposta de painel de vedação vertical de tubos de papelão.....	86
5.2. Projeto de painel de vedação vertical de tubos de papelão.....	88
5.3. Construção da célula-teste.....	97
5.3.1. Fabricação dos componentes construtivos.....	97
5.3.2. Execução da construção.....	106
5.3.3. O custo e o tempo de execução.....	116
5.4. Considerações finais sobre o projeto desenvolvido.....	123
6. Avaliação de desempenho do painel de vedação vertical de tubos de papelão proposto.....	127
6.1. Aspectos analisados para a avaliação de desempenho.....	128
6.2. A realização dos ensaios técnicos.....	131
6.2.1. Ensaios de absorção de umidade.....	132
6.2.2. Ensaio de resistência à compressão simples em corpos de prova de tubos de papelão.....	149
6.2.3. Ensaio de resistência à compressão simples em painéis.....	157
6.2.4. Ensaio de impacto de corpo mole.....	166
6.2.5. Ensaio de impacto de corpo duro.....	171
6.3. Inspeção da célula-teste.....	176
6.4. Avaliação de desempenho do painel proposto.....	195
6.5. Considerações finais sobre o desempenho do painel proposto.....	209
7. Discussões.....	213
8. Conclusões.....	219
8.1. Conclusão da tese.....	219

8.2. Conclusões do trabalho.....	219
8.3. Prosseguimento de estudo.....	221
9. Bibliografia.....	223
9.1. Referências bibliográficas.....	223
9.2. Bibliografia complementar consultada.....	231
10. Anexos.....	237
10.1. Anexo A – Custos e tempos de execução de vedações verticais convencionais.....	238
10.2. Anexo B – Ensaio de resistência à compressão simples em painéis – Painel-teste.....	245
10.3. Anexo C – Pesos-próprios de sistemas de coberturas convencionais.....	246
10.4. Anexo D – Repercussão do trabalho.....	248
Lista de siglas e abreviaturas.....	277
Lista de quadros.....	279
Lista de tabelas.....	280
Lista de gráficos.....	282
Lista de figuras.....	283

1 . I N T R O D U Ç Ã O

1.1. Considerações iniciais

Atualmente, os crescimentos vertiginosos da população mundial e do incentivo ao consumo resultam numa trajetória de grandes danos ambientais e degradação do planeta, determinada pela intensa exploração de recursos naturais e pela grande quantidade de resíduos gerados.

Com relação ao setor da construção civil, segundo CIB (2000), este é o setor de atividades humanas que mais consome recursos naturais e utiliza energia intensamente. De forma análoga, conforme Sartor e Lamberts (2008), levantamentos comprovam que a construção e a manutenção de obras em geral consomem cerca de 75% dos recursos naturais extraídos do planeta e produzem de 40% a 60% dos resíduos sólidos urbanos.

Em termos de Brasil, sabe-se que no ano de 2009 cada brasileiro produziu cerca de 0,576 kg de entulho por habitante/dia e que foram produzidas ao todo 91,4 mil toneladas diariamente (ANAP, 2010). Em razão disso, os princípios da sustentabilidade aplicados ao campo da construção civil implicam mudanças em toda a sua cadeia produtiva (SARTOR e LAMBERTS, 2008).

Sendo as vedações verticais o subsistema que mais demanda matérias-primas para a sua construção e o que mais gera resíduos após uma

possível demolição, torna-se importante a incorporação de resíduos neste subsistema.

Existem vários tipos de resíduos que podem ser aproveitados nas vedações verticais. Pesquisas em grandes universidades brasileiras demonstram isso, sobretudo desenvolvendo blocos alternativos para alvenaria, com o intuito de empregar resíduos na construção civil e avançar as técnicas construtivas, além de buscarem padronização dos elementos construtivos, modulação e racionalização da construção.

Um exemplo desses estudos é a adição de cinzas de diversas origens em concreto para a produção de elementos construtivos, como blocos de vedação e blocos de calçamento, que vem sendo estudada em várias universidades do país, como na Escola de Engenharia de São Carlos (EESC), na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (Poli-USP) e na Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) (ROCHA, 2008).

Entre tantos, outro exemplo é o uso de solo estabilizado na produção de paredes monolíticas, blocos e tijolos pelo Grupo de Estudos Orientados para a Tecnologia de Materiais e Habitação (Geotemah), da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) (CASTRO, 2008b).

Pelos estudos realizados pode-se perceber, em suma, que os materiais alternativos possuem, assim como os materiais convencionais, as suas vantagens e desvantagens de uso. Assim sendo, os materiais alternativos têm o seu potencial - que depende de material para material e da aplicação que se pretenda - e, portanto, poderiam ser mais utilizados ou difundidos.

Com relação aos painéis de vedação vertical que possuem resíduos em sua composição, no mercado existem poucas opções disponíveis aos profissionais da área e construtores em geral. Normalmente, os painéis de vedação vertical encontrados são constituídos de concreto, de alumínio, cerâmicos, cimentícios, de EPS (poliestireno expandido), de madeira, de PVC (policloreto de vinila), metálicos, de GRFC (concreto reforçado com fibra de vidro), ou de OSB (*oriented strand board*); sendo que apenas os painéis de tetra pak empregam resíduos e também alguns painéis do tipo colméia e gesso acartonado, dependendo do fabricante.

Por outro lado, sabe-se que o Brasil apresenta grande potencial no setor de fabricação de celulose, papel e reciclagem do mesmo, já que o volume de papéis descartados no país é bastante significativo. Atualmente, de acordo com Bracelpa (2010a), o Brasil é o 4º maior produtor de celulose e o 11º maior produtor de papel do mundo, com uma produção no ano de 2009 equivalente a 9,4 milhões de toneladas de papel e consumo em torno de 8,5 milhões de toneladas. Quanto à reciclagem, segundo Bracelpa (2010a), em 2008 foram recicladas no Brasil cerca de 3,6 milhões de toneladas de papel.

Sendo assim, este é um resíduo abundante no país que, entre outras opções, pode ser transformado em tubos de papelão, que são elementos de grande resistência devido ao seu formato tubular, conforme Salado (2006), e utilizado na construção civil, em especial, na fabricação de painéis de vedação vertical, contribuindo para a redução dos recursos naturais extraídos e do volume nos aterros sanitários.

Em virtude dos painéis de vedação vertical serem um produto, cujo consumo vem aumentando cada vez mais no Brasil e no mundo, seria muito interessante que fossem fabricados levando-se em consideração as preocupações com o meio ambiente citadas anteriormente, como utilizar resíduos em sua composição e poderem ser reciclados ou reutilizados.

1.2. Proposta e importância do estudo

Com base nas considerações tecidas, este trabalho propôs um painel de vedação vertical formado por tubos de papelão e analisou o seu desempenho técnico e estrutural, visando a sua aplicação na construção civil no Brasil, a partir de um estudo das principais referências no assunto.

Num primeiro momento, a proposta deste painel não foi condicionada a nenhum uso ou aplicação em específico. Mas, após a avaliação de desempenho do mesmo, foram indicados os seus usos e aplicações mais apropriados.

Para isso, foi necessário conhecer as principais características do painel de vedação vertical proposto, como as propriedades mecânicas, a

segurança estrutural, o comportamento frente a intempéries, questões relativas à sua construtibilidade, manutenibilidade etc, que foram enfocadas por este trabalho e possibilitadas por meio da realização de ensaios técnicos em laboratório e da construção e inspeção de uma célula-teste de aproximadamente 6,5 m².

Baseando-se principalmente no trabalho do arquiteto japonês Shigeru Ban, este trabalho foi uma continuidade da pesquisa realizada por Salado (2006), na qual se estudaram as tipologias e aspectos técnicos dos sistemas construtivos que utilizam tubos de papelão desenvolvidos pelo arquiteto mencionado, bem como as propriedades mecânicas do elemento construtivo isolado, oriundo da indústria brasileira.

A atratividade em se utilizar tubos de papelão se dá por estes serem um material de baixa tecnologia, não gerarem desperdício, serem reciclados, poderem ser reutilizados caso estejam em perfeitas condições de uso e possibilitarem a execução de sistemas construtivos transportáveis; além de serem um material resistente e apto ao seu emprego na construção civil, e produzidos no Brasil com abundância de matéria-prima.

Segundo Freitas *et al.* (2001), a consciência de que os recursos naturais não são ilimitados e dos danos ambientais ocasionados ao planeta, aponta a necessidade de um crescente investimento em pesquisas que possibilitem e incentivem se construir com menor impacto global.

Sob esta óptica, crê-se que um dos campos de intervenção mais importantes diz respeito à produção de materiais e componentes construtivos, e que o aproveitamento de resíduos é mais do que um ato desejável, sendo necessário. Percebe-se, portanto, a necessidade de se explorar o ineditismo do tema no Brasil, incorporando diversas questões no âmbito da Arquitetura.

As principais contribuições deste trabalho constam em: tornar evidentes as potencialidades de um novo material para a construção civil, no caso, os tubos de papelão, colaborando para a sustentabilidade ambiental; demonstrar a grande possibilidade de emprego deste material em construções provisórias, entre outras, colaborando com as pessoas desabrigadas e as situações emergenciais; e em questionar às normas

técnicas que não consideram e nem se adéquam em suas diretrizes e parâmetros aos materiais alternativos, sendo uma grave falha visto que, na conjuntura atual, o desenvolvimento de materiais alternativos é cada vez mais necessário, assim como os incentivos ao seu uso, e as pesquisas sobre estes são cada vez mais frequentes.

A significância desse estudo está, ainda, em contribuir para a construção do conhecimento e sua utilidade para a prática profissional e, mesmo, para a formação de novas políticas; sendo que está relacionado ao incentivo à pesquisa e ao desenvolvimento de novas tecnologias e à aceitação das mesmas que, se forem usadas com conveniência e criatividade, podem produzir bons resultados.

1.3. Objetivos do trabalho

O objetivo principal deste trabalho consistiu em testar a hipótese formulada:

“O painel de vedação vertical de tubos de papelão proposto neste trabalho possui desempenho técnico e estrutural satisfatório para o seu emprego na construção civil no Brasil.”

A hipótese deste trabalho se fundamentou pelos tubos de papelão serem um material resistente, devido ao seu formato tubular e a sua composição, e ao sistema construtivo proposto levar em consideração algumas adequações e deficiências identificadas a partir do estudo das obras de Shigeru Ban, além de outros princípios, referentes à sustentabilidade, construtibilidade, desempenho, modulação e racionalização das construções.

Como objetivos complementares pretenderam-se:

- realizar ensaios técnicos para avaliar o painel de vedação vertical de tubos de papelão proposto, no que se refere à sua resistência mecânica e ao seu comportamento quando submetido às principais ações sofridas por um painel de vedação vertical;

- construir uma célula-teste para avaliar o desempenho técnico e estrutural do painel de vedação vertical de tubos de papelão proposto quando submetido a situações reais de exposição.

1.4. Definição de conceitos

Para o desenvolvimento deste trabalho alguns termos necessitaram de uma definição precisa, feita com base em referências bibliográficas consagradas. Inicialmente, pesquisaram-se estes termos num dicionário da língua portuguesa de credibilidade e, posteriormente, na bibliografia consultada por esta pesquisa.

Uma das principais fontes levada em consideração foi a NBR 15575 – Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho (ABNT, 2008), por ser a norma técnica utilizada para se fazer a avaliação de desempenho nos painéis de vedação vertical de tubos de papelão propostos por este trabalho.

Painel de vedação vertical

Para este trabalho adotou-se, de acordo com ABNT (2008),

Sistema de vedação vertical interno e externo (SVVIE) são as partes do edifício habitacional que limitam verticalmente o edifício e seus ambientes internos, controlando o fluxo de agentes solicitantes.

Desempenho

Conforme Ferreira (1999),

Desempenho é o conjunto de características ou possibilidades de atuação de máquina, motor ou veículo, tais como velocidade, capacidade de carga, agilidade, autonomia de movimentos, rendimento etc; atuação, comportamento.

Para CIB (1975),

Desempenho é o comportamento de um produto em utilização.

Segundo CSTC (1979),

Desempenho é a propriedade que caracteriza quantitativamente o comportamento de um produto em utilização.

De acordo com IF (1972),

O conceito de desempenho é um arranjo sistematizado no qual é possível expressar os atributos desejáveis de um material, componente ou sistema, de modo a preencher as exigências do usuário, sem que se considerem os específicos meios a serem empregados na consecução dos resultados.

Conforme ISO (1981),

O conceito de desempenho constitui-se num enfoque metodológico que intervém em todo o processo e que se caracteriza por considerar o edifício como um produto que deve satisfazer a determinadas exigências.

Para ABNT (2008),

Desempenho é o comportamento em uso de um edifício e seus sistemas.

Para este trabalho, define-se:

DESEMPENHO é o comportamento ou resposta de um produto quando solicitado a cargas e esforços característicos do seu uso, e frente a situações reais de exposição.

Construtibilidade

Segundo O'Connor & Tucker (1986),

Construtibilidade é a integração otimizada do conhecimento e da experiência construtiva com as fases de planejamento, engenharia, gerenciamento e operações de campo do projeto, visando o cumprimento de objetivos globais.

Conforme Griffith (1986),

Construtibilidade é um estágio no qual a etapa de concepção do edifício volta-se para simplificar e facilitar as operações construtivas, sujeitando-se a todas as exigências do edifício concluído.

Para Sabbatini (1989),

Construtibilidade é a propriedade inerente ao projeto de um edifício, ou de uma sua parte, que exprime a aptidão que este edifício (ou sua parte) tem de ser construído.

Para este trabalho, define-se:

CONSTRUTIBILIDADE significa a aptidão que um edifício possui de ser construído de forma fácil e simplificada ou, ainda, a otimização do processo construtivo.

Módulo (modulação)

De acordo com Ferreira (1999),

Módulo é a medida reguladora das proporções de uma obra arquitetônica.

Greven (2007), que também se baseia em Ferreira (1999), ainda cita:

Módulo é a unidade de medida que se toma como unidade de qualquer medida.

Para este trabalho, define-se:

MÓDULO é a unidade de medida reguladora que se toma como unidade de uma obra arquitetônica.

Racionalização

Conforme Ferreira (1999),

Racionalizar é tornar os processos mais eficientes.

Para Sarli (s.d.),

Racionalização da construção é o processo dinâmico que torna possível a otimização do uso dos recursos humanos, materiais, organizacionais, tecnológicos, financeiros, visando atingir objetivos fixados nos planos de desenvolvimento de cada país e de acordo com a realidade sócio-econômica própria.

Segundo BNH (1978),

Racionalização da construção é um processo dinâmico que se desenvolve e aperfeiçoa-se sistematicamente, em consonância com as características regionais e o macro desenvolvimento do país, tendo por

objetivo a otimização dos recursos materiais, humanos, organizacionais, tecnológicos e financeiros que intervêm na construção, em todas as suas fases.

De acordo com Trigo (1978),

Racionalizar é aplicar, em matéria de organização, de planificação e de verificação, as técnicas adequadas à melhoria da qualidade e ao acréscimo da produtividade, fazendo o melhor uso dos meios humanos, dos materiais de construção e dos equipamentos e instalações.

Conforme Sabbatini (1989),

Racionalização construtiva é um processo composto pelo conjunto de todas as ações que tenham por objetivo otimizar o uso dos recursos materiais, humanos, organizacionais, energéticos, tecnológicos, temporais e financeiros disponíveis na construção em todas as suas fases.

Para este trabalho, define-se:

RACIONALIZAÇÃO na construção é a otimização do uso dos recursos humanos, materiais, tecnológicos, energéticos, temporais e financeiros em toda a construção.

Construção sustentável (sustentabilidade)

Segundo CIB (1999),

Construção sustentável é a criação e o gerenciamento responsável de um ambiente construído saudável com base em princípios ecológicos e de eficiência de recursos.

Para CIB e UNEP (2002),

Construção sustentável é a condição ou estado que possibilita a existência do *homo sapiens* provido de segurança, saúde e vida produtiva para todas as gerações em harmonia com a natureza e com os valores culturais e espirituais locais.

De acordo com Gibberd (2004),

A edificação e construção sustentáveis buscam maximizar os efeitos sociais e econômicos benéficos enquanto minimizam os impactos ambientais negativos.

Para este trabalho, utiliza-se:

CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL é um ambiente construído baseado em princípios ecológicos e de eficiência de recursos, buscando-se preservar o meio ambiente.

1.5. Conteúdo do trabalho

Este trabalho está estruturado da seguinte forma:

No **item 1** é feita a introdução ao assunto estudado através de algumas considerações iniciais. É apresentada a proposta de estudo e discutida a sua importância, além de serem expostos os objetivos do mesmo. Também são definidos os principais conceitos utilizados neste trabalho.

No **capítulo 2** são expostas algumas relações entre Arquitetura, construção e meio ambiente, é tratado sobre o acúmulo de resíduos no Brasil e no mundo e a produção destes pelo setor da construção civil; fala-se sobre a utilização de resíduos por este setor e, em especial, em painéis de vedação vertical.

No **capítulo 3** são expostos dados sobre a produção de celulose, papel e a sua reciclagem no Brasil, e são abordadas algumas formas de utilização de papéis reciclados na construção civil e na Arquitetura, através de tubos de papelão.

No **capítulo 4** é feito um estudo minucioso das obras nas quais Shigeru Ban construiu painéis de vedação vertical com tubos de papelão, fazendo-se um levantamento dos aspectos técnicos dessas obras e, sobretudo, uma análise criteriosa dos aspectos técnicos referentes aos painéis de vedação e suas ligações; identificando-se adequações e deficiências nestes, para servirem de base à proposta do painel de vedação vertical de tubos de papelão feita por este trabalho.

No **capítulo 5** é feita a proposta de um painel de vedação vertical de tubos de papelão, juntamente com o projeto de todo o sistema construtivo para utilizá-lo e, também, o projeto e construção de uma célula-teste utilizada na avaliação de desempenho do painel proposto.

No **capítulo 6** é feita a análise de desempenho do painel de vedação vertical de tubos de papelão proposto, por meio da realização de ensaios técnicos em laboratório e de inspeções na célula-teste. Os dados obtidos de ambas as formas foram avaliados com o auxílio da NBR 15575 – Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho.

No **item 7** são apresentadas discussões a respeito do desenvolvimento deste trabalho.

O **item 8** revela as conclusões obtidas com a realização deste trabalho, além de sugestões para futuros trabalhos.

O **item 9** expõe a bibliografia utilizada para a elaboração deste trabalho, compreendendo as referências bibliográficas citadas e a bibliografia complementar consultada.

Por fim, no **item 10** encontram-se em anexos informações importantes para o entendimento de algumas partes deste trabalho, e as notícias e reportagens que foram divulgadas a respeito do mesmo em jornais, revistas, televisão, rádio etc, devido à sua repercussão.

2 . A P R E O C U P A Ç Ã O A M B I E N T A L E O U S O D E R E S Í D U O S N A C O N S T R U Ç Ã O C I V I L

Atualmente, o crescimento vertiginoso da população mundial associado ao incentivo ao consumo que a mesma recebe converte-se numa trajetória de grandes danos ambientais e degradação do planeta, que se inicia numa intensa exploração de recursos naturais e culmina numa grande quantidade de resíduos gerados.

Tão preocupantes quanto os impactos provenientes do consumo de matéria (em seus estados sólido, líquido e gasoso) e energia são aqueles ocasionados pelos resíduos gerados (também nas formas sólida, líquida e gasosa), assim como a qualidade do ambiente que se disponibiliza às gerações atuais e futuras (SATTLER e PEREIRA, 2006).

Esses fatos demonstram o quão são importantes as relações entre Arquitetura, construção e meio ambiente.

2.1. A Arquitetura e a preocupação com o meio ambiente

Fato é que o crescimento populacional tem grande influência na questão da sustentabilidade, uma vez que incide no aumento de consumo em geral e também na demanda por construções.

Com o aumento do consumo aumenta a exploração de recursos naturais, a geração de resíduos e a produção de CO₂, inclusive devido à industrialização dos processos, acentuando o problema do aquecimento global (EDWARDS, 2008).

Conforme CIB (2000), a indústria da construção civil é o setor de atividades humanas que mais consome recursos naturais e utiliza energia de forma intensiva, ocasionando impactos ambientais que devem ser motivo de preocupação a todos os envolvidos nas suas inúmeras etapas produtivas.

No campo da construção civil, todas as práticas construtivas que contribuem para o alto consumo de energia elétrica, para a emissão de gases poluentes etc, causam danos não só para as cidades como um todo, como danos de efeitos planetários, como a elevação das temperaturas¹, a contaminação das águas e do ar, a escassez de energia etc.

O projeto arquitetônico e a escolha dos materiais de construção são muito importantes para a preservação ambiental. Uma construção cujo projeto e materiais empregados não propiciem conforto térmico, iluminação interna e ventilação adequadas, por exemplo, resultará num consumo de energia demasiado (EDWARDS, 2008). Assim sendo, a falta de cuidados com o projeto arquitetônico e com a escolha dos materiais de construção causará danos ambientais durante toda a vida útil da edificação.

Isso demonstra a necessidade de sempre se considerarem medidas voltadas para a sustentabilidade em Arquitetura em todas as suas fases, desde a concepção do projeto, execução da obra, uso e manutenção, e demolição ou reutilização.

¹ Segundo Sartor e Lamberts (2008) existe a estimativa de que, em termos globais, cerca de um terço da liberação de gases que provocam o efeito estufa no planeta esteja relacionado às indústrias da construção civil. Por isso, este setor está no centro das discussões pela busca do desenvolvimento sustentável.

Dentro deste enfoque, Freitas *et al.* (2001) citam algumas recomendações com relação aos componentes construtivos como um dos recursos utilizados na elaboração do projeto, na busca por melhores condições ambientais, as quais sejam:

- a) adequar o projeto à modulação dos componentes construtivos a serem empregados, de forma a reduzir perdas;
- b) adotar um sistema construtivo que privilegie a utilização de materiais e componentes construtivos de produção local ou regional, diminuindo a distância de transporte desses materiais;
- c) considerar informações sobre o desempenho ambiental dos materiais e componentes construtivos durante todo o seu ciclo de vida.

De forma análoga, de acordo com Sattler e Pereira (2006), os desafios para todos os profissionais desse setor, visando às futuras gerações, podem ser traduzidos nas seguintes estratégias:

- a) reduzir e otimizar o consumo de materiais e energia;
- b) reduzir os resíduos gerados;
- c) preservar e melhorar a qualidade do ambiente natural e construído.

Desse modo, reduzir os resíduos gerados incorre no desenvolvimento de projetos que incorporem o incentivo ao uso de materiais e componentes que gerem menos resíduos sólidos e gasosos, o desmonte e reuso de materiais e componentes, e a reciclagem de resíduos de materiais e componentes não reutilizáveis.

Além disso, devem ser incentivados o uso de materiais com menor conteúdo energético, e o uso de fontes energéticas sustentáveis na produção de materiais e na produção e uso das edificações (SATTLER e PEREIRA, 2006).

2.2. O acúmulo de resíduos no Brasil e no mundo

Sabe-se que quanto mais alta é a renda de uma população maior é o seu consumo. E desse alto consumo, também estimulado pelos governos de diversos países e economias capitalistas, resultam os resíduos. Estes podem

ser de vários tipos e oriundos de situações completamente dispare, como desde simples embalagens, que geralmente constituem-se no primeiro material a ser descartado, até produtos de usos diversos que não possuem mais serventia ou são substituídos por outros novos e mais modernos, por exemplo.

Dessa forma, os resíduos podem ser classificados quanto às suas características físicas (seco ou molhado), quanto à sua composição (orgânico ou inorgânico), e quanto à sua origem (residencial, comercial, industrial, hospitalar, entulho etc) (PORTAL SÃO FRANCISCO, 2010). Essa diferenciação determina quais tipos de resíduos podem ser reaproveitados e para quais finalidades, e o destino que deve ser dado a cada um.

Segundo Silva Filho² *apud* O Estado de S. Paulo (2010), uma das populações que mais produz lixo é a população dos Estados Unidos, com cerca de 2,8 kg por habitante/dia; enquanto que na Europa a média para este índice é em torno de 1,2 kg por habitante/dia.

Dentro deste contexto, um estudo realizado pela Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (Abrelpe) em 364 municípios brasileiros, intitulada Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2009, constatou que a quantia média de lixo gerado no Brasil naquele ano foi cerca de 1,152 kg por habitante/dia.

A pesquisa também mostrou que entre os 364 municípios analisados, a capital Brasília foi a maior geradora de lixo, com índice de 1,698 kg por habitante/dia, seguida de Rio de Janeiro com 1,617 kg por habitante/dia e de São Paulo com 1,259 kg por habitante/dia. No total, o volume de lixo produzido no Brasil no ano de 2009 foi de 182 mil toneladas/dia, ou 7,7% a mais que no ano de 2008, quando havia sido de 169 mil toneladas/dia.

Os dados mostram que a quantia de resíduos gerados no Brasil é semelhante à quantia gerada na União Européia, com observação de um crescimento considerável entre os anos de 2008 e 2009, e algumas cidades com produção de lixo superior à média européia. De acordo com Silva Filho *apud* O Estado de S. Paulo (2010), estes fatos são preocupantes, uma vez

² Carlos Roberto da Silva Filho é diretor-executivo da Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (Abrelpe), instituição formada pelas empresas de coleta e destinação de resíduos no Brasil.

que o Brasil não possui o mesmo grau de desenvolvimento dos países europeus e Estados Unidos, e a coleta seletiva e a reciclagem não crescem na mesma proporção que o lixo gerado.

Assim sendo, o estudo aponta que os aterros das grandes cidades brasileiras aproximam-se da saturação, já que 56,8% desse lixo têm como destino os aterros sanitários, 23,9% são levados para os aterros controlados (que não possuem tratamento de chorume³) e 19,3% para os lixões⁴ – figura 2.1.

Figura 2.1 – Lixo depositado a céu aberto, em lixão. Fonte: Agência Brasil, 2010.

Outro problema, bastante freqüente no Brasil, é que muito lixo não é descartado da forma correta, sendo deixado em beiras de estradas, ruas, terrenos baldios, bueiros, proximidades de rios e mares, e acaba arrastado pelas águas das chuvas e correntezas, contribuindo para a ocorrência de enchentes, acumulando-se em locais inapropriados, e poluindo a natureza – figura 2.2.

³ Chorume é um líquido preto que escorre do lixo e, se não for drenado e tratado, penetra pela terra levando substâncias contaminantes para o solo e o lençol freático.

⁴ Segundo Lixo (2010), lixão é uma área de depósito final de resíduos sólidos sem preparação do solo, sem tratamento de chorume e onde o lixo fica exposto sem nenhum tipo de cobertura. Aterro controlado é uma área cujo solo foi protegido com manta impermeável, que pode ou não ter tratamento de chorume e captação de gases e o lixo é coberto diariamente com terra ou outro material disponível. E aterro sanitário é semelhante ao anterior, com o devido preparo e proteção do solo, porém, sempre é dotado de Estação de Tratamento de Efluentes para o tratamento do chorume e, por isso, é considerado o tipo ideal de depósito para o lixo.

Figura 2.2 - Lixo flutuante expelido pelos rios na Baía de Guanabara, Rio de Janeiro (RJ).
Fonte: O Globo, 2008.

Contudo, os resíduos sólidos gerados no Brasil e no mundo não são caracterizados apenas pelo lixo comumente oriundo de habitações, escolas, hospitais, indústrias etc. A cadeia produtiva da construção civil, responsável por 8,5% do Produto Interno Bruto nacional, além de depender da extração de matérias-primas naturais, como a areia, a madeira, as pedras etc, produz imensos volumes de resíduos.

Segundo Sartor e Lamberts (2008), levantamentos indicam que a construção e a manutenção de obras de edificações em geral consomem até 75% dos recursos naturais extraídos no planeta. Concomitantemente, a ineficiência em alguns dos processos produtivos faz com que a indústria da construção civil seja reconhecidamente uma grande geradora de resíduos. E, quanto a isso, os levantamentos também mostram que o lixo resultante da construção, manutenção e demolição de casas e edifícios representa de 40% a 60% dos resíduos sólidos urbanos.

Segundo Anap (2010), hoje em dia se sabe que o lixo produzido pela indústria da construção civil, em especial da brasileira, representa um volume considerável e também crescente, em decorrência do bom momento do setor no país. No ano de 2009 cada brasileiro produziu cerca de 0,576 kg por habitante/dia de entulho; sendo que ao todo foram produzidas 91,4 mil toneladas/dia, ou 14% a mais que no ano de 2008, quando este índice foi de 80,3 mil toneladas de entulho por dia (ANAP, 2010).

O maior problema com relação aos restos de materiais de construção gerados por pequenas reformas, construções e demolições refere-se ao seu descarte que, quando feito de maneira inadequada, assim como o lixo comum, acaba gerando sérios danos para o meio ambiente. Geralmente, estes resíduos são jogados em terrenos baldios, beiras de estradas etc, como mostra a figura 2.3.

Figura 2.3 – Entulho em Santa Isabel (SP), abandonado próximo a Área de Preservação Permanente. Fonte: Planeta Sustentável, 2010.

Para evitar este problema, a Prefeitura de São Paulo criou em 2009 o Projeto Ecopontos, para receber materiais inservíveis, inclusive entulho (POLO SERVIÇOS, 2009). Segundo Zanchetta e Grandin (2010), outra medida adotada na cidade é a aplicação de multa a pessoas que despejam entulho em via pública.

Em termos federais, no início de 2010 o Ministério do Meio Ambiente fechou um compromisso com 21 estados e municípios brasileiros para elaborar um Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos, com o intuito de organizar a gestão dos resíduos e promover o desenvolvimento sustentável do ambiente urbano⁵ (AGÊNCIA BRASIL, 2010). Entre os estados participantes estão Goiás, Mato Grosso, Rondônia, Paraná, Pernambuco, Paraíba, Rio Grande do Norte e Bahia, além de algumas cidades de São Paulo, Rio Grande do Sul, Pará, Minas Gerais e Maranhão.

⁵ Conforme Agência Brasil (2010), estas medidas devem contribuir com o Plano de Mudanças Climáticas assumido pelo presidente da república em Copenhague em dezembro de 2009, na Conferência das Partes das Nações Unidas.

No mais, a lei que cria a Política Nacional de Resíduos Sólidos foi sancionada pelo então presidente da república no início de agosto de 2010. De acordo com O Estado de S. Paulo (2010b), a nova lei além de proibir os lixões e determinar que união, estados e municípios elaborem planos para tratar seus resíduos sólidos, estabelecendo metas e programas de reciclagem, vai provocar mudanças na forma como a população lida com o lixo, principalmente no que diz respeito à coleta seletiva.

A lei se refere a todos os tipos de resíduos (domésticos, industriais, hospitalares, eletroeletrônicos, da construção civil etc) e faz a distinção entre resíduos, como o lixo que pode ser reaproveitado ou reciclado, e os rejeitos, como o lixo que não é possível de reaproveitamento (RICHARD, 2010).

Às indústrias, a lei estabelece que as embalagens sejam fabricadas com materiais que propiciem sua reutilização ou reciclagem e impõe a logística reversa, ou seja, a obrigação de recolherem seus próprios produtos descartáveis e a incumbência de solucionar o seu descarte.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos reúne princípios, objetivos, instrumentos e diretrizes para a gestão dos resíduos sólidos, e responsabiliza toda a sociedade pela geração de resíduos.

Uma recomendação para reduzir o volume de resíduos gerados pela construção civil talvez seja, além dos citados no item 2.1, evitar as demolições e procurar reaproveitar ou adaptar as edificações existentes a novas necessidades.

2.3. A preservação ambiental e o uso de resíduos na construção civil

A utilização de resíduos na construção civil pode gerar diversos benefícios, entre eles, o aumento da produtividade no setor sem aumentar o consumo de recursos naturais. De forma análoga, a reutilização de materiais reduz a produção de CO₂, pois diminui a atividade industrial (EDWARDS, 2008).

No campo da construção, a idéia de sustentabilidade exige mudanças em toda a cadeia produtiva. Baseando-se nisso, nas grandes universidades do mundo as pesquisas vêm gerando inovações como materiais alternativos, sistemas de gestão, recomendações e normas técnicas que possibilitam construções mais sustentáveis (SARTOR e LAMBERTS, 2008).

Vários estudos têm sido desenvolvidos nessas universidades, com o intuito de empregar materiais alternativos na construção civil e avançar as técnicas construtivas, além de buscarem padronização dos elementos construtivos, modulação e racionalização da construção. Um exemplo dessas pesquisas é a adição de cinzas de diversas naturezas em concreto para a produção de elementos construtivos, como blocos de vedação e blocos de calçamento, que vem sendo estudada em algumas universidades do Brasil, como na Escola de Engenharia de São Carlos (EESC), na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (Poli-USP) e na Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

Como exemplo das pesquisas desenvolvidas na Escola de Engenharia de São Carlos, Pablos (2008) investigou a possibilidade de emprego na construção civil do resíduo sólido gerado pelo descarte das areias de fundição aglomeradas com argila, com adições de argila bentonita sódica e/ou sílica ativa, na confecção de tijolos maciços. Estes tijolos foram concebidos com design diferenciado, a fim de proporcionar modulação e encaixes que podem reduzir o consumo de argamassa de assentamento na execução de alvenarias – figura 2.4.

Figura 2.4 – Tijolos produzidos com areia de fundição. Fonte: Pablos, 2008, p.94.

No caso da Universidade Federal de Santa Catarina, o Grupo de Valorização de Resíduos Industriais & Materiais desenvolveu um estudo para gerar materiais e elementos construtivos de baixo impacto ambiental. O principal enfoque deste trabalho foi a valorização de resíduos, com grande disponibilidade na região Sul do país, que foram utilizados na produção dos elementos construtivos (ROCHA, 2008).

Os resíduos empregados foram entulho de construção (cerâmico), cinzas da queima da casca de arroz e cinzas pesadas geradas no processo termoelétrico. As figuras 2.5 e 2.6 mostram as cinzas pesadas geradas no processo termoelétrico e os blocos de concreto fabricados com a adição da mesma.

Figura 2.5 – Cinzas pesadas geradas no processo termoelétrico. Fonte: Rocha, 2008.

Figura 2.6 – Elementos construtivos com adição de cinzas pesadas. Fonte: Rocha, 2008.

Outro exemplo é o uso de solo estabilizado, feito pelo Grupo de Estudos Orientados para a Tecnologia de Materiais e Habitação (Geotemah), da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). O objetivo é

mostrar que o solo e os resíduos, ou subprodutos, podem ser utilizados com vantagem em substituição dos materiais nobres e caros, economizar energia e resguardar o meio ambiente.

Dependendo da matéria-prima usada para estabilizar o solo, são gerados materiais diferentes, como o solo-cimento (um dos mais comuns), o solo-cal, o solo-cimento-cal, o solo-resíduos, o solo-polímeros etc. As possibilidades de aplicação desses materiais na produção de paredes monolíticas, blocos e tijolos são analisadas pelo Geotemah (CASTRO, 2008b).

Nas figuras abaixo se pode observar os blocos fabricados com solo estabilizado e uma habitação construída com este material.

Figura 2.7 – Elementos construtivos produzidos com solo estabilizado. Fonte: Castro, 2008b.

Figura 2.8 - Vista externa de uma habitação produzida com blocos de solo estabilizado.
Fonte: Castro, 2008b.

2.3.1. O uso de resíduos em painéis de vedação vertical

Pode-se dizer que as vedações externas e internas compõem o subsistema de maior área numa edificação. Conseqüentemente, este é o subsistema que mais consome materiais durante a construção e o que mais gera resíduos após uma possível demolição. Sendo assim, utilizar resíduos na construção das vedações significa aproveitar grandes quantias de material que seria descartado em aterros sanitários e, ao mesmo tempo, evitar a extração de uma quantidade considerável de matérias-primas da natureza.

Por outro lado, a opção por usar painéis de vedação vertical pré-fabricados cresce cada vez mais, sendo muito utilizados em shopping centers, hotéis, supermercados, indústrias e, inclusive, edifícios residenciais⁶. No Brasil, o uso de painéis pré-fabricados se iniciou na década de 70, com a introdução no mercado de painéis de gesso acartonado produzidos pelos europeus, e se consolidou na década de 90 (ABBATE, 2002).

Com o passar do tempo foram surgindo novos tipos de painéis, confeccionados com outros materiais, com ou sem função estrutural, para o uso em vedações internas e fechamentos externos, o que resultou numa grande variedade atualmente, como os painéis de concreto, de alumínio, cerâmicos, cimentícios, de EPS (poliestireno expandido), de madeira, de PVC (cloreto de polivinila), metálicos, de GFRC (*glass fiber reinforced concrete*), de OSB (*oriented strand board*) etc.

Em virtude de ser um componente cujo emprego vem aumentando cada vez mais no Brasil e no mundo, seria muito interessante que os diversos tipos de painéis de vedação fossem fabricados levando-se em consideração as preocupações com o meio ambiente citadas nos itens anteriores, como utilizar resíduos em sua composição e poderem ser reciclados ou reutilizados.

Atualmente são encontrados no mercado alguns tipos de painéis de vedação vertical que contém resíduos em sua composição, como os painéis

⁶ Segundo Kiss (2000), o grande atrativo deste tipo de sistema, originado e muito difundido em países como os Estados Unidos e o Canadá, é a redução do tempo de fechamento em até 75%. Outros benefícios são a redução de gastos com mão-de-obra e a redução de materiais nos canteiros de obras.

de tetra pak, os painéis do tipo colméia e os painéis de gesso acartonado, dependendo do fabricante.

Conforme Loturco (2006), os painéis de gesso possuem duas placas acartonadas em suas faces interna e externa, podendo conter resíduos de papéis descartados em sua composição. Esses painéis podem ser usados em paredes comuns ou paredes hidráulicas, e possuem medida padrão de 1,20 x 2,40 m, sendo fabricados com até 3,5 m, e espessura para o emprego em paredes, geralmente, de 1,25 cm – figura 2.9.

Figura 2.9 – Painéis de gesso acartonado. Fonte: Notícias da Construção, 2009.

Os painéis colméia são painéis do tipo sanduíche, compostos por duas capas nas superfícies interna e externa, preenchidos internamente por uma colméia de papelão que, por sua vez, pode ter configuração hexagonal, ondulada ou quadrada – figuras 2.10 e 2.11. Segundo Portal da Madeira (2010), esses painéis oferecem boa resistência e estabilidade, com redução de peso.

Figura 2.10 – Painel colméia. Fonte: Masisa, 2010.

Figura 2.11 – Tipos de colméia para painéis de vedação. Fonte: Portal da Madeira, 2010.

Os painéis de tetra pak podem ser utilizados como painéis divisórios, fechamento de áreas, em canteiros de obras etc. São feitos com uma mistura de plástico (polietileno de baixa densidade, ou PEBD), alumínio e celulose descartados e picados. As medidas disponíveis são 1,10 x 2,20 m ou 1,10 x 1,10 m, com espessura mínima de 6 mm – figura 2.12 (ECOPAK, 2010).

Figura 2.12 – Painéis de tetra pak. Fonte: Foto da autora.

3 . A REUTILIZAÇÃO DE PAPÉIS DESCARTADOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Sabe-se que tudo que é produzido e consumido um dia será descartado; e, no caso do papel, geralmente os produtos gerados são descartados em pouco tempo após o seu consumo, como papéis usados para anotações, folhetos de propaganda, jornais, revistas, notas fiscais, agendas, calendários, bobinas, embalagens etc.

Isso gera um grande volume de resíduos nos aterros sanitários, sendo o ideal o seu reaproveitamento ou reciclagem, contribuindo ainda para a preservação do meio ambiente⁷. O emprego de resíduos de papéis descartados, a partir da sua reciclagem, deve ser feito por todos os setores industriais possíveis, inclusive a construção civil.

⁷ Conforme Ambiente Brasil (2011), ao se utilizar uma tonelada de papéis descartados para a produção de papel reciclado, além de evitar esse volume nos aterros sanitários, podem-se poupar até 30 árvores. Ao mesmo tempo, na fabricação de uma tonelada de papel reciclado, economizam-se 98% de água e 50% de energia, com relação à produção de papel de 1ª linha, além de se gerar cinco vezes mais empregos nas indústrias e dez vezes mais empregos do que na coleta e destinação final do lixo.

3.1. A produção de celulose e papel no Brasil e a reciclagem

No mundo inteiro são produzidas milhares de toneladas de celulose e papel anualmente. Nos últimos anos, os maiores produtores mundiais de celulose e papel foram Estados Unidos, China, Canadá e Japão.

O Brasil se encontra entre eles, sendo o 4º maior produtor de celulose e o 11º maior produtor de papel do mundo, com crescimento médio anual de 7,5% na produção de celulose e 5,7% na produção de papel (BRACELPA, 2010a). Segundo Bracelpa (2010a), no ano de 2009 foram produzidas no Brasil 13,5 milhões de toneladas de celulose; sendo que 39% destinaram-se ao consumo nacional e 61% à exportação. O gráfico abaixo mostra o destino dessas exportações.

Gráfico 3.1 – Destinos da celulose exportada pelo Brasil. Fonte: Bracelpa, 2010a.

Com relação à produção de papel, em 2009 foram produzidas no Brasil 9,4 milhões de toneladas, das quais 79% destinaram-se ao consumo nacional⁸ e 21% à exportação – gráfico 3.2 (BRACELPA, 2010a).

⁸De acordo com a Associação Brasileira de Celulose e Papel, Bracelpa (2010a), além de o Brasil consumir esta quantia de papel da produção nacional, no ano de 2009, o país ainda consumiu cerca de um milhão de toneladas de papel importadas de outros países.

Jan-Mai 2010

■ África ■ China ■ Ásia/Oceania ■ América do Norte ■ Europa ■ América Latina

Gráfico 3.2 – Destinos do papel exportado pelo Brasil. Fonte: Bracelpa, 2010a.

O Brasil possui indústrias de celulose e papel espalhadas por todo o país, em 17 estados e nas cinco regiões. Porém, segundo Bracelpa (2010c), os estados que mais produzem papel são: São Paulo (42,63%), Paraná (21,74%) e Santa Catarina (17,44%)⁹. Conforme Bracelpa (2010b), do total de papéis produzidos em 2009 no Brasil aproximadamente 49,5% foram papéis para embalagens e cerca de 27,5% papéis para impressão e escrita – gráfico 3.3.

Gráfico 3.3 – Produção de papel no Brasil por tipos. Fonte: Bracelpa, 2010b.

Quanto à reciclagem, segundo Bracelpa (2010a), em 2008 foram recicladas no Brasil cerca de 3,6 milhões de toneladas de papel, o que

⁹ O saldo do setor de produção de celulose e papel para o ano de 2009 foi equivalente a 14,4% da Balança Comercial do Brasil (BRACELPA, 2010a).

corresponde a aproximadamente 43,7% do consumo aparente nacional¹⁰. Os estados brasileiros que mais consumiram aparas para reciclagem entre os anos de 2008 e 2009 foram: São Paulo (1,5 milhão de toneladas), Santa Catarina (800 mil toneladas), Paraná (440 mil toneladas) e Minas Gerais (390 mil toneladas) (BRACELPA, 2010c).

De acordo com o exposto, é possível perceber que o Brasil é um produtor e consumidor potencial de celulose e papel, com perspectivas de crescimentos anuais contínuos. Sendo assim, e com os incentivos à expansão da atividade de reciclagem deste material, possibilita-se o seu reaproveitamento de várias formas, inclusive, na Arquitetura e construção civil.

3.2. Os produtos gerados com papel reciclado para a construção civil e a Arquitetura no Brasil

O papel reciclado gera uma infinidade de produtos para diversos setores industriais, como caixas de papelão para embalagens, papéis sanitários, papéis para escrita e impressão, cones e tubetes de papelão para a indústria de tecelagem, tubetes para a indústria de fogos de artifícios e de canudos para diplomas, bobinas em geral etc.

Para a construção civil e a Arquitetura, além dos painéis de gesso acartonado e colméia, que utilizam papéis reciclados em sua fabricação (vide item 2.3), no Brasil tem-se o uso de tubos de papelão na construção de mobiliário e o seu emprego como formas para pilares de concreto.

No primeiro caso, alguns arquitetos e designers como os brasileiros Thiago Rodrigues, Antônio Carlos Figueira de Mello, Sérgio Cabral e Lula Gouveia, do estúdio Superlimão, utilizam tubos de papelão na criação de móveis e objetos de decoração. As peças, destinadas a diversas funções, ganham formatos diferentes a partir de um ou vários elementos em composição, mostrando a preocupação com o meio ambiente e o viés sustentável também neste ramo.

¹⁰ Pode-se entender “consumo aparente” como o consumo da produção nacional somada das importações, subtraindo-se as exportações.

Segundo o grupo, o material que seria descartado vira uma peça de design bacana e diferente após um tratamento artístico (MIRANDA, 2009). Alguns exemplos das peças criadas por este grupo podem ser vistos nas figuras a seguir.

Figuras 3.1 e 3.2 – Mesa Ampulheta e Cadeira Circular. Fonte: Superlimão, 2010a.

Figuras 3.3 e 3.4 – Puff Laranja e Banquinhos Bijú. Fonte: Superlimão, 2010a.

Figura 3.5 – Poltrona Juta-Tudo. Fonte: Superlimão, 2010a.

Além das peças para mobiliário, os designers do estúdio Superlimão já utilizaram tubos de papelão para montar estandes de feiras e decoração de ambientes – figuras 3.6 a 3.9.

Figuras 3.6 e 3.7 – Estande de feira em tubos de papelão. Fonte: Superlimão, 2010b.

Figura 3.8 – Elementos de tubos de papelão em restaurante.
Fonte: Superlimão, 2010b.

Figura 3.9 – Mobiliário de restaurante em tubos de papelão. Fonte: Superlimão, 2010b.

Da mesma forma, o artista plástico Nido Campolongo fundou a Galeria do Papel, onde também cria peças para mobiliário e decoração. Preocupado com questões sociais e ambientais, este profissional utiliza

resíduos industriais, sendo o papelão a matéria-prima principal, e emprega mão-de-obra proveniente de instituições carentes (GRUNOW, 2007).

Em seu acervo existem peças para formar um ambiente completo, como estantes, divisórias, mesas, cadeiras, pufes, bancos, cama, poltronas etc, feitos com tubos e cones de papelão em associação com outros materiais, como vidro, couro e madeira - figuras 3.10 a 3.12.

Figuras 3.10 e 3.11 – Móveis de tubos de papelão criados por Nido Campolongo.
Fonte: Grunow, 2001, p.119-121.

Figura 3.12 – Mesa de cones de papelão criada por Nido Campolongo.
Fonte: Grunow, 2001, p.120.

Em 2001, o artista plástico participou de uma exposição no SESC Belenzinho, em São Paulo, onde expôs um ambiente intitulado de Casa do Leitor (GRUNOW, 2001). As figuras 3.13 e 3.14 mostram a exposição.

Figura 3.13 – Casa do Leitor, de Nido Campolongo – vista 01. Fonte: Grunow, 2001, p.120.

Figura 3.14 – Casa do Leitor, de Nido Campolongo – vista 02. Fonte: Grunow, 2001, p.119.

De acordo com Grunow (2001), nesta ocasião os ambientes de uma residência foram reproduzidos em 350 m² onde, além do mobiliário, as paredes divisórias, o forro e o piso foram confeccionados em papelão.

Em maio de 2009, Nido Campolongo participou do projeto Viva a Mata 2009¹¹, expondo uma forma inovadora de uso dos tubos de papelão na criação de espaços arquitetônicos no Brasil (SOARES, 2009). A obra, criada e exposta pelo artista plástico, constava de uma estrutura geodésica feita a partir de anéis levemente cônicos de papelão, ligados uns aos outros com grampos metálicos, sobre uma estrutura primária em madeira laminada, e foi intitulada de Oca – figuras 3.15 e 3.16.

¹¹ Este projeto, promovido pela Fundação SOS Mata Atlântica, expõe anualmente diversas iniciativas em prol da Mata Atlântica, como um incentivo à reciclagem e ao reuso de materiais de forma prática e inclusiva. (SOARES, 2009).

Figura 3.15 – Vista externa da Oca de papel. Fonte: Campolongo, 2010a, p. 05.

Figura 3.16 – Estrutura auxiliar da Oca de papel. Fonte: Campolongo, 2010a, p. 05.

Segundo Campolongo (2010b), os mais de 700 anéis utilizados na estrutura foram produzidos manualmente com papel kraft e cola, e possuem internamente um elemento circular feito de papelão em chapa e vazado ao centro, para enrijecê-los e possibilitar iluminação natural no interior do espaço.

A Oca de papel possui 7,5 m de diâmetro, 3,5 m de altura e pode ser desmontada e montada várias vezes e em poucas horas. A obra já foi utilizada para o proferimento de aulas e palestras, conforme mostram as figuras 3.17 e 3.18 (SOARES, 2009).

Figuras 3.17 e 3.18 – Vista interna do Oca de papel. Fonte: Campolongo, 2010a, p. 05-6.

Quanto à aplicação dos tubos de papelão na construção civil, geralmente usam-se os elementos fabricados no sistema espiral¹². No Brasil, estes tubos já são fabricados há muitos anos e utilizados para servirem como forma para pilares de concreto, de seções quadrada, retangular, hexagonal ou, mais comumente, cilíndrica.

Podem ser feitos de diversos diâmetros, comprimentos e espessuras, para apresentarem a resistência necessária e suportarem a pressão da concretagem. No caso das formas para pilares de seção cilíndrica, o diâmetro interno das peças pode variar de 150 a 1000 mm e o comprimento pode ser de até 7500 mm. As figuras 3.19 e 3.20 mostram como são essas formas.

Figuras 3.19 e 3.20 – Formas de tubos de papelão. Fonte: Dimibu, 2010, p.05.

¹² Conforme Lacerda (2006), existem também tubos de papelão fabricados no sistema em paralelo.

Esse tipo de forma possui grandes vantagens, como leveza, possibilidade de rápida colocação e fácil desforma, utilizando mão-de-obra reduzida – figuras 3.21 e 3.22 (DIMIBU, 2010).

Figuras 3.21 e 3.22 - Tubo de papelão sendo usado para a concretagem de um pilar.
Fonte: Dimibu, 2010, p.08.

No mais, apresentam grande rigidez, não requerem escoramento, e possuem revestimento externo impermeabilizado e interno com papel especial não aderente ao concreto; o que também impossibilita a absorção de água do mesmo e a reação com seus componentes, nem deixam escapar a sua nata.

Esses tubos de papelão também podem ser aplicados na fabricação de peças pré-moldadas e estacas, e na construção de tetos abobadados, lajes e pontes, como forma perdida para tabuleiros – figuras 3.23 e 3.24.

Figuras 3.23 e 3.24 - Tubos de papelão sendo usados para caixão perdido.
Fonte: Dimibu, 2010, p.10.

Em outros países, ao invés dos tubos de papelão serem usados como forma para elementos de concreto e após a desforma serem descartados, estes são utilizados como elementos de vedação e estrutura nas construções, através de diversos sistemas construtivos, conforme será apresentado no próximo item.

3.3. O uso de tubos de papelão como elementos de vedação e estrutura no mundo

As tentativas de emprego de tubos de papelão na construção civil se iniciaram na segunda metade do século XX. Estudantes, pesquisadores e profissionais passaram a buscar neste material algumas vantagens e a possibilidade de uma construção leve, de rápida execução e que atendesse a necessidades variadas.

Constataram-se, então, que o uso de tubos de papelão na construção civil como elementos de estrutura e vedação possui vários atrativos, como o fato destes poderem ser reciclados ou reutilizados em outras obras, serem um material de baixa tecnologia, não necessitarem de acabamento, não gerarem desperdício e serem facilmente relocados ou até substituídos quando danificados, dependendo do sistema construtivo adotado (McQUAID, 2003).

Os tubos de papelão também são bastante versáteis. Dessa forma, embora este não seja um material dos mais utilizados na construção civil, foi possível desenvolver-se diversos sistemas construtivos. Alguns usam este material com função apenas estrutural ou para vedação, outros para as duas funções concomitantemente, através de elementos isolados ou painéis.

Muitos destes sistemas construtivos foram desenvolvidos por Shigeru Ban, um arquiteto japonês que projeta e constrói utilizando tubos de papelão há mais de duas décadas e já implantou suas obras em vários países, como Japão, Índia, Turquia, França, EUA, Alemanha e Ruanda. De acordo com Beret e Penwardem (2000), Shigeru Ban começou a experimentar as qualidades do papelão em tubos por defender e promover a reciclagem como uma solução pós-tecnológica e pós-industrial.

A respeito das características do material, Shigeru Ban ressalta algumas relações entre os tubos de papelão e a madeira. Sendo o primeiro material derivado do segundo, ele se refere ao tubo de papelão como “madeira evoluída” e afirma que a durabilidade de uma construção feita com tubos de papelão é de pelo menos dez anos (ARCHITECTURE AND URBANISM, 1997).

Comparando os dois materiais, o engenheiro norte-americano André Chaszar atesta que a construção feita de tubos de papelão é muito parecida à feita em madeira; mas que o espaçamento entre os tubos deve ser menor¹³. Chaszar diz ainda que os tubos de papelão têm, aproximadamente, $\frac{1}{10}$ da dureza da madeira e $\frac{1}{15}$ da sua resistência (TALARICO, 2000).

Quanto ao aspecto da resistência, pode-se dizer que Shigeru Ban modificou a relação existente entre a resistência e a sustentabilidade do material e a resistência correspondente e a sustentabilidade da estrutura. Para ele, esses fatores dependem da técnica construtiva adotada e do conhecimento dos materiais escolhidos (McQUAID, 2003). Para evidenciar isso, o mestre da arquitetura com tubos de papelão faz uma colocação muito importante:

“O material estrutural não tem que ser forte; até as estruturas de concreto podem ser facilmente destruídas por terremotos. A estabilidade de uma construção não depende da resistência mecânica de seu material.” (BAN, 1997, p. 132).

Em suas obras, Shigeru Ban mantém as características simples do tubo de papelão, utilizando-o oco e com tratamento contra a ação do fogo e umidade, e aumenta as suas qualidades básicas para gerar um material estrutural com resistência satisfatória. Dessa maneira, ele gera construções grandiosas, fazendo-se repensar as ideias de baixa resistência mecânica, pobreza, pequena durabilidade e natureza efêmera que geralmente se atribuem ao papelão (SALADO, 2006).

Shigeru Ban foi quem mais estudou, desenvolveu e disseminou a tecnologia que utiliza tubos de papelão em sistemas construtivos e, embora

¹³ Como com a madeira, as especificações para as construções em tubos de papelão mudam conforme o projeto e a aplicação do material.

existam outros profissionais e estudiosos que tenham desenvolvido alguns poucos experimentos, sua obra possibilita um estudo mais completo sobre os sistemas construtivos desenvolvidos com tubos de papelão até os dias atuais.

Portanto, no item 3.3.1 será apresentado um panorama das suas obras arquitetônicas mais recentes, em diferentes lugares do mundo.

3.3.1. O uso de tubos de papelão por Shigeru Ban em suas obras arquitetônicas

Na última década, os projetos em tubos de papelão de Shigeru Ban tiveram algumas características predominantes. Entre as obras executadas nesse período, algumas tiveram o caráter emergencial, outras o expositivo permanente, outras o caráter expositivo temporário, e quase todas ainda foram associadas ao caráter transportável.

Seguindo uma ordem cronológica, no ano de 2003 o arquiteto construiu uma Geodésica Nômade de Papel, na Holanda, que foi rapidamente desmontada e novamente montada em outro local do país em 2004. A estrutura, que foi requerida por um grupo de atores para suas apresentações, possuía 25 m de diâmetro e 10 m de altura, e foi construída com aproximadamente 700 segmentos de tubos de papelão, ligações metálicas em formato de estrela e membrana impermeável de PVC, conforme mostram as figuras 3.25 a 3.27. (MIYAKE, 2009).

Figura 3.25 – Construção da Geodésica de Papel. Fonte: Miyake, 2009, p.90.

Figuras 3.26 e 3.27 – Interior e exterior da Geodésica de Papel. Fonte: Miyake, 2009, p.90-1.

No ano de 2004, Shigeru Ban construiu um escritório temporário para o seu próprio uso em Paris, na França. A construção (figuras 3.28 e 3.29) foi executada a partir de uma estrutura feita basicamente com arcos compostos por segmentos de tubos de papelão, unidos por elementos de madeira, e cobertos por painéis de OSB, dotados de um círculo vazado ao centro, protegidos por uma membrana de PVC.

Figuras 3.28 e 3.29 – Construção do Escritório Temporário. Fonte: Miyake, 2009, p.96.

Uma vista interna do escritório temporário de Shigeru Ban em Paris pode ser vista na figura 3.30.

Figura 3.30 – Vista interna do Escritório Temporário. Fonte: Miyake, 2009, p.100-1.

Em 2005, Shigeru Ban projetou e construiu um Museu Nômade para ser transportado por diferentes lugares do mundo e exibir grandes painéis de fotografias. Além de se preocupar com a transportabilidade¹⁴, o arquiteto deveria também atentar para o custo e o peso da estrutura. A construção, figura 3.31, foi formada pela disposição de 64 tubos de papelão com 75 cm de diâmetro, espaçados a cada seis metros. Possuía 4200 m² de área interna e levou cerca de dois meses para ser montada e desmontada (MIYAKE, 2009).

Figura 3.31 – Interior do Museu Nômade em Nova York. Fonte: Miyake, 2009, p.193.

¹⁴ Conforme depoimento de Shigeru Ban em Ross (2007), a proposta de transportabilidade da edificação e reuso dos componentes construtivos é uma medida de sustentabilidade.

Vale ressaltar que, embora se tratasse de um museu móvel, sua maior parte não necessitou ser transportada, pois os containers adotados para os fechamentos laterais poderiam ser providenciados em qualquer lugar do mundo, devendo apenas os outros elementos serem relocados¹⁵.

O museu foi implantado primeiramente em Nova York (EUA) no ano de 2005, conforme a figura 3.32, e posteriormente na Califórnia (EUA) em 2006, e em Tóquio (Japão) no ano de 2007.

Figura 3.32 – Vista externa do Museu Nômade em Nova York. Fonte: Miyake, 2009, p.196.

Em 2006, o Pavilhão de Papel abrigou o centro de imprensa e informações da Bienal de Singapura, e representou a primeira construção elevada de tubos de papelão, composta por treliças contraventadas com cabos de aço e utilizando peças de ligação de madeira, dispostas sobre pilares metálicos (MIYAKE, 2009). A estrutura, que foi concebida para ser rapidamente desmontada e reusada posteriormente, pode ser vista nas figuras abaixo.

Figuras 3.33 e 3.34 – Vistas externas do Pavilhão de Papel.

Fontes: Miyake, 2009, p.103 e Archinect, 2010.

¹⁵ Segundo Alati (2006), oito dos containers utilizados na vedação do espaço ainda serviram para o transporte, por navio, das obras a serem expostas. Esta seria mais uma forma de aproveitar os componentes da construção e economizar com o aluguel dos containers.

Também no ano de 2006, aconteceu uma exposição intitulada “*Cézanne en Provence*”, em *Aix-en-Provence*, na França. Esta foi a cidade natal de Paul Cézanne, onde o também artista Victor Vasarely construiu um museu de formato hexagonal.

Para homenagear os artistas no ano de comemoração do centenário de morte de Cézanne e nascimento de Vasarely, Shigeru Ban projetou uma estrutura de tubos de papelão com ligações metálicas e cobertura de membrana, cuja projeção em planta remetia ao formato hexagonal do museu de Vasarely, sugerindo que este fosse ecoado através do formato de funil. Ao mesmo tempo, sabendo que Cézanne gostava de apreciar a vista do lugar, buscando neste hábito inspiração para seus trabalhos, Shigeru Ban criou para esta obra uma base para servir como banco e oferecer aos visitantes a vista admirada por Cézanne (MIYAKE, 2009).

As figuras abaixo mostram duas vistas da obra de Ban por diferentes ângulos.

Figuras 3.35 e 3.36 – Vistas do Pavilhão Vasarely. Fonte: Miyake, 2009, p.107.

No mesmo ano, Shigeru Ban projetou outro museu temporário, semelhante ao descrito anteriormente. O Museu Papertainer foi construído em Seul, na Coreia do Sul (MIYAKE, 2009).

Nesta ocasião, o grande corredor formado por pilares de tubos de papelão ganhou um formato semicircular, composto por 373 tubos de 75 cm de diâmetro e 10 m de altura que formavam, além dos pilares centrais, as paredes externas.

Outro espaço, retilíneo, foi formado entre duas paredes paralelas de containers que foram empilhados como num tabuleiro de damas, sendo que

os dispostos mais abaixo serviram para expor obras de arte, e os dispostos mais acima para abrigar espaços administrativos e de serviços. (MIYAKE, 2009).

As figuras 3.37 e 3.38 ilustram o projeto.

Figuras 3.37 e 3.38 – Vista do pátio central e Vista noturna do Museu Papertainer. Fonte: Miyake, 2009, p. 185 e 189.

Em maio de 2008, após um terremoto na cidade de Chengdu, na China, Shigeru Ban foi solicitado para construir uma escola de ensino básico na região. O projeto propôs pilares e vigas de tubos de papelão de 24 cm de diâmetro e 15 mm de espessura, ligados por peças de madeira – figura 3.39 (MIYAKE, 2009).

Figura 3.39 – Interior de sala de aula da Escola Chengdu. Fonte: Pasternack, 2009.

A construção da escola, figura 3.40, foi executada por estudantes universitários japoneses e chineses, além de professores chineses, todos voluntários. Segundo Pasternack (2009), este projeto não só promoveu a

reconstrução de uma escola de forma inovadora e sustentável, como possibilitou uma aproximação entre os povos e as culturas japonesa e chinesa.

Figura 3.40 – Vista externa da Escola Chengdu. Fonte: Pasternack, 2009.

Para conseguir empregar os tubos de papelão em suas obras arquitetônicas e explorar os seus atributos da forma mais apropriada, Shigeru Ban constantemente desenvolve ensaios técnicos com este material.

Os principais ensaios realizados pelo arquiteto, para os projetos da Biblioteca de Papel (figura 3.41), da Casa de Papel (figura 3.42), do Domus de Papelão (figura 3.43) e do Pavilhão Japonês na Expo 2000 (figura 3.44), foram ensaios de resistência à compressão e ensaios de resistência à flexão, e tiveram os seus resultados publicados, como se mostra na tabela 3.1.

Figuras 3.41 e 3.42 – Biblioteca de Papel (1991) e Casa de Papel (1995).
Fonte: The Japan Architect, summer 1998, p.102 e 95.

Figuras 3.43 e 3.44 - Domus de Papelão (1998) e Pavilhão Japonês (2000).
Fontes: The Japan Architect, summer 1998, p.82 e McQuaid, 2003, p.67.

Tabela 3.1 – Resultados dos ensaios técnicos realizados por Shigeru Ban. Fonte: Salado, 2006.

Ensaio técnico realizado por Shigeru Ban*						
Ensaio	Projeto	Dimensões CPs $\Phi e \times e \times L$ (mm)	F _{máx} (kgf)	f _c /f _f máx (MPa)	E (Gpa)	Poisson
Resistência à compressão	Biblioteca de Papel	100 x 12,5 x 400	3447	10,12	1,86	0,189
	Casa de Papel	280 x 15 x 600		11,17	2,41	0,138
	Domus de Papelão	280 x 15 x 600		9,74	2,11	0,141
	Pavilhão Japonês	100 x 22 x 240		9,53	1,58	
Resistência à flexão	Biblioteca de Papel					
	Casa de Papel	280 x 15 x 4000		15,82	2,22	
	Domus de Papelão	291 x 20,5 x 1758		14,91	2,15	
	Pavilhão Japonês	100 x 22 x 2000	664	14,52	1,46	

* Os espaços em branco não tiveram os seus resultados divulgados.

As figuras a seguir ilustram a realização destes ensaios.

Figura 3.45 – Ensaio de resistência à compressão para o Pavilhão Japonês.

Fonte: McQuaid, 2003, p.84.

Figuras 3.46 e 3.47 – Ensaio de resistência à compressão para a Casa de Papel.

Fonte: McQuaid, 2003, p.75.

Figura 3.48 – Ensaio de resistência à flexão para a Casa de Papel.

Fonte: McQuaid, 2003, p.76.

3.3.2. O estudo dos tubos de papelão no Brasil

Em termos de Brasil, além dos trabalhos do Superlimão e de Nido Campolongo, mostrados no item 3.2, alguns poucos estudos foram desenvolvidos por estudantes de Arquitetura a respeito do uso de tubos de papelão na construção civil.

Recentemente, Alessandra Rocha e Santos publicou um artigo sugerindo o uso de tubos de papelão em uma estrutura hiperbólica para uso temporário. Foi feito um ensaio de resistência à compressão, que resultou em $f_{cm\acute{a}x}$ de 1,8 MPa para corpos-de-prova sem revestimento e $f_{cm\acute{a}x}$ de 4,3 MPa para corpos-de-prova revestidos com resina poliéster, todos com 150 mm de diâmetro externo, 300 mm de comprimento e espessura de 2,5 mm para os não revestidos e 4 mm para os revestidos (ROCHA E SANTOS, 2009).

O modelo computacional desenvolvido no software SAP 2000, pode ser visto na figura a seguir.

Figura 3.49 – Modelo computacional de estrutura hiperbólica em tubos de papelão.
Fonte: Rocha e Santos, 2009, p.5

Anteriormente, no ano de 2003, Anita de Domenico, Mirian Vaccari e Mônica Marcondes, alunas do último ano do curso de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo (FAU-USP), desenvolveram uma proposta de intervenção para a Vila dos Ferroviários, em Campinas. O projeto, que não foi testado, propôs o uso de tubos de papelão para a estrutura em dois pavimentos, com o intuito de demonstrar que o papelão pode ser usado em caráter permanente e durável – figuras 3.50 e 3.51 (VACCARI, 2003).

Figuras 3.50 e 3.51 – Foto da maquete do sistema estrutural e elevação da casa projetada por estudantes da FAU-USP. Fonte: Vaccari, 2003, p.70.

Gerusa Salado apresentou como Trabalho Final de Graduação na Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Presbiteriana Mackenzie, o projeto de um centro cultural no bairro de Santana, em São Paulo (SP); propondo o uso de tubos de papelão para as vedações internas. O projeto, com área de 23.000 m², é mostrado na figura 3.52.

Figura 3.52 – Centro Cultural Santana. Fonte: Salado, 2003, p.142.

Dependendo do ambiente, neste projeto, os tubos de papelão foram dispostos com espaçamentos diferentes entre si e intercalados com panos de vidro. Todos os tubos de papelão, 30 cm de diâmetro, 6,0 mm de espessura e 4,0 m de altura, foram fixados sobre bases de madeira, para evitar o contato com superfícies molhadas. Com esse material ainda se propôs os reservados, nos sanitários feminino e masculino. Tubos com diâmetro de 1,20 m e espessura de 6 mm deveriam ter um corte frontal, possibilitando o encaixe da porta, e serem pintados internamente de branco para aumentar a claridade. (SALADO, 2003)¹⁶.

Em seu trabalho de mestrado, Salado (2006) estudou o emprego de tubos de papelão na construção civil pelo arquiteto japonês Shigeru Ban. Como objetivo do trabalho, pretendeu-se chegar à conclusão se as características técnicas dos tubos de papelão fabricados no Brasil possibilitariam gerar sistemas construtivos neste país.

Foram estudadas todas as tipologias de sistemas construtivos criadas pelo referido arquiteto, as características técnicas dos tubos de papelão que este utiliza em suas obras, e realizados alguns ensaios técnicos preliminares para a caracterização de tubos de papelão fabricados por uma indústria brasileira. Os ensaios realizados foram: ensaio de absorção de umidade, ensaio de flambagem, ensaio de resistência à compressão e ensaio de resistência à flexão.

¹⁶ Este Trabalho Final de Graduação recebeu o “Prêmio Telésforo Cristofani” por ser eleito através de voto direto pelos professores, funcionários e alunos da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Mackenzie como o TFG mais significativo do ano, em julho de 2003.

O ensaio de absorção de umidade testou três tipos de vernizes comerciais à base de solvente: verniz copal, verniz marítimo e verniz com filtro solar. Todos os índices de absorção de umidade foram acima de 60%, provavelmente devido ao fato de os corpos-de-prova não terem sido dispostos sobre uma grelha, dentro da câmara úmida, o que pode ter ocasionado absorção de umidade pelas suas bases – figura 3.53. De qualquer maneira, excluiu-se a possibilidade de utilizar esses produtos nos tubos de papelão.

Figura 3.53 – Ensaio de absorção de umidade. Fonte: Salado, 2006, p. 126.

O ensaio de flambagem foi realizado com corpos-de-prova com 2500mm de comprimento, 150 mm de diâmetro interno e espessuras de parede variando de 04 mm, 11 mm e 20 mm - figura 3.54. Estes corpos-de-prova resistiram em média a uma carga de 500 kgf, 1500 kgf e 1700 kgf, respectivamente, com relação às três espessuras de parede.

Figura 3.54 – Ensaio de flambagem. Fonte: Salado, 2006, p. 140.

O ensaio de resistência à compressão foi realizado com corpos-de-prova com 150 mm de diâmetro interno, espessuras de parede variando de 04 mm, 11 mm e 20 mm e comprimento igual ao dobro do seu diâmetro externo – figura 3.55.

Figuras 3.55 – Ensaio de resistência à compressão. Fonte: Salado, 2006, p. 128.

Os resultados deste ensaio podem ser conferidos abaixo.

Tabela 3.2 – Resultados do ensaio de resistência compressão. Fonte: adaptado de Salado, 2006, p. 129.

Resistência à compressão			
CPs	Φ_e (mm)	P _{máx} (kgf)	f _{cmáx} (MPa)
1	193	8427	7,8
2	193	8779	8
3	193	8492	7,7
média	193	8566	7,8
4	173	4282	7,5
5	173	4357	7,6
6	173	4373	7,6
média	173	4337	7,6
7	162	1273	5,5
8	162	1190	5,1
9	162	1294	5,7
média	162	1252	5,4

Da mesma forma, o ensaio de resistência à flexão testou os seguintes corpos-de-prova:

- 3 corpos-de-prova com 150 mm de diâmetro interno, espessura de 04mm, e comprimento de 1900 mm;

- 3 corpos-de-prova com 150 mm de diâmetro interno, espessura de 11mm, e comprimento de 2100 mm;
- 3 corpos-de-prova com 150 mm de diâmetro interno, espessura de 20mm, e comprimento de 2300 mm.

Os resultados são apresentados a seguir.

Tabela 3.3 – Resultados do ensaio de resistência à flexão. Fonte: adaptado de Salado, 2006, p. 142.

Resistência à flexão				
CPs	Φ_e (mm)	P _{máx} (kgf)	f _{máx} (MPa)	E (Gpa)
1	193	900	12	1,4
2	193	700	9,4	1
3	193	700	9,4	1,1
média	193	766,7	10,3	1,2
4	173	350	8,4	1,5
5	173	350	8,4	1,5
6	173	350	8,4	1,1
média	173	350	8,4	1,4
7	162	100	5,4	0,6
8	162	100	5,4	0,6
9	162	100	5,4	0,6
média	162	100	5,4	0,6

A figura 3.56 mostra este ensaio.

Figura 3.56 – Ensaio de resistência à flexão. Fonte: Salado, 2006, p.134.

Os resultados destes dois últimos ensaios possibilitaram comparações com os resultados dos ensaios realizados e divulgados por Shigeru Ban na bibliografia existente. Dessa forma, Salado (2006) constatou que os tubos de

papelão fabricados no Brasil e testados no trabalho em referência possuem resistência à compressão e à flexão cerca de 20% e 30%, respectivamente, inferiores com relação aos tubos de papelão japoneses.

Como conclusão, Salado (2006) afirma que é possível gerar sistemas construtivos com tubos de papelão fabricados no Brasil, desde que sejam adotadas soluções em projeto para compensar a baixa resistência mecânica dos elementos, com relação aos tubos japoneses, além de um tratamento eficiente contra a absorção de umidade.

Espera-se que outras pesquisas sejam realizadas e contribuam para o desenvolvimento desta tecnologia e sua implementação no Brasil.

4 . OS PAINÉIS DE VEDAÇÃO VERTICAL DE TUBOS DE PAPELÃO EXECUTADOS POR SHIGERU BAN

Como já foi dito no capítulo anterior, Shigeru Ban foi quem mais desenvolveu a tecnologia que utiliza tubos de papelão em construções. Entre tantas possibilidades de sistemas construtivos, o arquiteto também desenvolveu e utilizou algumas vezes um sistema composto por painéis de vedação vertical.

Sendo assim, após dar um panorama a respeito das principais obras do arquiteto com tubos de papelão nos últimos anos e visando os objetivos deste trabalho, neste capítulo serão estudadas três obras nas quais Shigeru Ban utilizou esses painéis de vedação vertical e os sistemas construtivos propostos em cada ocasião.

As obras serão apresentadas uma de cada vez através de textos e fotos que explicam e analisam detalhadamente os aspectos técnicos gerais de cada uma. Ao fim da apresentação de cada obra, um primeiro quadro-

resumo reunirá essas informações sobre os seus aspectos técnicos gerais, como a área construída, as dimensões dos tubos utilizados, os outros materiais adotados em associação, os sistemas estrutural e de vedação, a fundação, a cobertura, as ligações entre os diversos elementos etc¹⁷.

Uma segunda análise será feita para cada obra apresentada. Nesta, serão enfocados exclusivamente os aspectos técnicos referentes aos painéis de vedação vertical e aos elementos utilizados para ligá-los à base e à cobertura.

Por estar diretamente relacionada ao objetivo principal deste trabalho, esta análise deverá ser feita da forma mais detalhada o possível. Sendo assim, para não interferir na apresentação de cada obra, mas ao mesmo tempo possibilitar a visualização dos pontos questionados, serão aproveitados os textos e principalmente as fotos das obras apresentadas, para a elaboração de críticas e comentários que serão expostos através de notas de rodapé.

Ao fim da apresentação de cada obra, um segundo quadro-resumo reunirá essas informações elaboradas nas notas de rodapé, referentes apenas aos painéis de vedação vertical e aos elementos utilizados para ligá-los à base e à cobertura; sendo que cada ponto discutido será avaliado e julgado como adequações ou deficiências, que serão tomadas como pontos de partida para o projeto e proposta do painel de vedação vertical de tubos de papelão feitos por este trabalho no capítulo 5.

Com relação aos aspectos da sustentabilidade, racionalização, modulação e construtibilidade, por não constituírem o foco principal deste trabalho, mas serem considerados fatores importantes para o mesmo, estes embasarão uma avaliação feita de forma genérica nas obras de Shigeru Ban que serão apresentadas a seguir, mas separado das análises que enfocam minuciosamente os aspectos técnicos e desempenho dos painéis de vedação de tubos de papelão.

Dessa forma, no item 4.2, serão feitas considerações gerais às três obras apresentadas, avaliando-as sob a ótica da sustentabilidade,

¹⁷ A análise técnica das obras foi feita apenas com base nas informações as quais se teve acesso e através da observação das fotos encontradas. Devido a isso, em alguns pontos a análise pode não ser completa, para algumas obras.

racionalização, modulação e construtibilidade, que também serão consideradas para o projeto e proposta do painel de vedação vertical de tubos de papelão feitos por este trabalho no capítulo 5.

4.1. Obras de Shigeru Ban utilizando painéis de vedação vertical de tubos de papelão

Após observar refugiados do Congo e Ruanda abrigados sob lonas vinílicas, no começo de 1994, Shigeru Ban enviou à *United Nations High Commissioner for Refugees (UNHCR)* uma proposta de residências emergenciais padronizadas, que deveriam ter cerca de 4 m² ou mais.

O arquiteto imaginou que os tubos de papelão poderiam ser feitos de materiais reciclados no próprio local, com máquinas pequenas. Assim, seria possível construir estruturas razoáveis, com um custo não muito maior que o da cobertura vinílica, e as residências emergenciais poderiam ser seguramente desmontadas e armazenadas quando os conflitos acabassem. A parceria com a UNHCR foi firmada e as residências emergenciais de Shigeru Ban foram usadas em Kobe (Japão), em Kaynasli (Turquia) e em Bhuj (Índia).

De acordo com Miyake (2009), a UNHCR considerou que as *"Paper Log Houses"* (como Shigeru Ban as intitulou) responderam a várias necessidades que outros tipos de abrigos emergenciais não satisfaziam bem às vítimas de terremotos e outras catástrofes. Entre as deficiências dos abrigos emergenciais até então utilizados, citaram-se que outros sistemas pré-fabricados e os containers usados para abrigos são difíceis de desmontar e armazenar, e pouco adaptáveis às condições climáticas; além de nada se assemelharem a uma casa, mesmo que simples e pequena, e se constituírem em espaços inóspitos.

Outro fator identificado por Shigeru Ban foi que, geralmente, existe uma intensa pressão política para acabar com os campos de refugiados. Por esse motivo, mesmo sem haver a característica de propriedade, o arquiteto procurou melhorar ao máximo a aparência dessas residências emergenciais

e planejou as áreas a serem ocupadas de acordo com normas de organização social e desenvolvimento (MIYAKE, 2009).

Essas medidas também seriam benéficas caso fosse necessário para as famílias permanecerem naquelas áreas por um tempo maior, pois as residências emergenciais teriam uma aparência esteticamente agradável, ofereceriam aos seus usuários melhores condições de habitabilidade, e estariam situadas em áreas com infraestrutura de comunidades temporárias.

4.1.1. Residências emergenciais em Kobe (Japão)

Vários meses depois de um grande terremoto atingir a cidade de Kobe, em 1995, muitas famílias ainda estavam desabrigadas, sem terem sido assistidas pelo governo japonês. Isso provou a Shigeru Ban o quanto era realmente necessário desenvolver um tipo de abrigo que fosse mais que temporário (MIYAKE, 2009).

Para solucionar este problema rapidamente, Shigeru Ban teve a idéia de projetar algo de baixo custo, esteticamente satisfatório, que fosse rápido e fácil de construir, usasse materiais descartados e pudesse ser desmontado sem gerar resíduos, ou podendo-se reutilizar os materiais (BAN, 1997).

Ban se enfocou no desenvolvimento de diversas tipologias de abrigos para uso familiar e para grandes estruturas de uso comum, necessárias num acampamento, que pudessem ser feitas pelo simples corte de tubos de papelão em diferentes comprimentos. Assim, chegou ao que chama de "*Log House*", certo de sua utilidade para situações emergenciais, e à decisão de usar tubos de grande diâmetro como sanitários (BUNTROCK, 1996).

A partir daí, começou a procurar por materiais doados e voluntários. Então, de acordo com Miyake (2009), Shigeru Ban entrou em contato com o pastor de uma igreja local e, com a ajuda de voluntários da igreja, construiu uma residência emergencial de tubos de papelão que serviu como modelo para outras unidades. Um grupo de dez voluntários, incluindo um líder, foi designado à construção de cada casa. Assim, as primeiras seis casas estavam prontas em menos de seis horas (McQUAID, 2003).

Conforme Miyake (2009), as paredes foram constituídas de painéis feitos com tubos de papelão de 108 mm de diâmetro, 4 mm de espessura e 2 m de comprimento – figura 4.1¹⁸. A união dos tubos foi reforçada com cabos de aço transpassando-os transversalmente em duas alturas, e espuma adesiva foi usada entre os elementos para proporcionar isolamento e estanqueidade.

Figura 4.1 – Painel de vedação vertical das residências emergenciais.
Fonte: GG Portfolio, 1997, p.44.

Como pode ser visto através da figura 4.2, as fundações foram feitas de engradados plásticos de cerveja doados, contendo internamente sacos de areia, e as tesouras da cobertura foram feitas de tubos de papelão com ligações de madeira (GG PORTFOLIO, 1997).

¹⁸ A partir das informações de Miyake (2009) e da figura 4.1, podem-se fazer alguns comentários. A medida estabelecida para o diâmetro dos tubos proporciona espessura de parede dentro dos padrões, em termos de painéis de vedação, e a espessura da parede do tubo de 4 mm proporciona rigidez ao elemento neste diâmetro. A mínima variação nas dimensões dos elementos facilita a construção, e os tubos de papelão posicionados na vertical promovem maior estabilidade aos painéis devido ao seu formato tubular. Os cabos de aço introduzidos transversalmente nos painéis aumentam a sua rigidez e a resistência a cargas horizontais, e a espuma adesiva tem a função de vedar as possíveis frestas entre os elementos. Porém, o comprimento de 2 m possibilita um pé-direito baixo, com relação às medidas comumente utilizadas em países do Ocidente, como o Brasil. Além disso, as medidas dos painéis são definidas conforme cada projeto, e neste caso são grandes (4x2m), dificultando a sua montagem, o transporte e a construção, requerendo um número muito grande de pessoas para fazê-lo sem que estes desmontem.

Figura 4.2 – Painel de vedação vertical das residências emergenciais - projeto.
Fonte: Miyake, 2009, p.126.

As figuras abaixo mostram a construção das tesouras da cobertura pelos voluntários.

Figuras 4.3 e 4.4 – Construção da estrutura da cobertura da "Log House".
Fontes: GG Portfólio, 1997, p. 44 e The Japan Architect, summer 1998, p.89.

Segundo McQuaid (2003), membranas para tenda foram usadas para cobrir as residências emergenciais, permitindo-se uma abertura lateral para propiciar maior ventilação. Portas e janelas foram feitas de madeira compensada – figura 4.5.

Figura 4.5 – Sistema de cobertura que permite ventilação. Fonte: Miyake, 2009, p.112.

Através da figura 4.6 é possível entender a construção das casas¹⁹.

Figura 4.6 – Perspectiva explodida da "Log House". Fonte: McQuaid, 2003, p.37.

¹⁹ Com base na figura 4.6, percebe-se que o sistema de travamento entre painéis adjacentes é feito transpassando-se os cabos de aço por todos os tubos de papelão de um painel mais o primeiro elemento do painel adjacente, o que parece eficiente; mas ao mesmo tempo, na desmontagem da construção, para se soltar um painel do outro obrigatoriamente devem-se retirar primeiramente os cabos de aço por inteiro e, com isso, soltam-se todos os seus elementos constituintes, promovendo a desagregação dos tubos de papelão e desmanchando os painéis. Isso comprova mais uma vez a impossibilidade do sistema construtivo ser desmontado sem que os painéis se desintegrem e, portanto, a impossibilidade de se armazenarem os painéis íntegros. No caso de uma posterior reutilização, os painéis têm que ser novamente montados, tubo por tubo.

A figura 4.6 também mostra que sobre a fundação de engradados de cerveja foram dispostas vigas de madeira com saliências em formato de cruz, nas quais os tubos de papelão dos painéis encaixavam. Na parte de cima dos painéis foi colocada uma cinta de amarração de madeira com seção em formato de “U” invertido²⁰. Nesta peça foi fixada a estrutura da cobertura e, por cima, a membrana de tenda. Tirantes foram usados para amarrar a cobertura na fundação e evitar a ação dos ventos.

A próxima figura mostra a residência emergencial depois de concluída a sua construção.

Figura 4.7 – “Log House” construída. Fonte: Miyake, 2009, p.125.

Conforme McQuaid (2003), foram construídas aproximadamente vinte e sete casas, formando uma pequena comunidade provisória, como se pode ver nas figuras a seguir.

²⁰ O encaixe dos painéis na parte inferior se faz por dentro dos elementos e individualmente, o que aumenta a rigidez do conjunto. No entanto, este sistema deixou as extremidades inferiores dos tubos abertas nas faces externas dos painéis, permitindo o acesso e instalação de insetos no interior dos elementos. A cinta de amarração superior feita de madeira com seção em formato de “U” invertido, devido ao fato de abranger os painéis de vedação apenas por fora, mostram-se pouco resistentes, podendo romper sob cargas horizontais elevadas ou impactos muito fortes nos painéis. As ligações confeccionadas em madeira encarecem a construção e exigem mão-de-obra muito especializada.

Figuras 4.8 e 4.9 – Vistas externas das residências emergenciais. Fonte: Miyake, 2009, p.127-8.

As famílias muito grandes receberam duas “*Log Houses*” dispostas lado a lado, sendo o espaço entre elas usado como uma área em comum – figuras 4.10 e 4.11 (McQUAID, 2003).

Figura 4.10 e 4.11 – Espaço comum entre as residências emergenciais.
Fontes: Miyake, 2009, p.127 e GG Portfólio, 1997, p.46.

As figuras 4.12 e 4.13 mostram o interior das residências emergenciais.

Figura 4.12 – Interior de uma residência emergencial. Fonte: GG Portfolio, 1997, p.49.

Figura 4.13 – Vista interna de uma residência emergencial. Fonte: GG Portfolio, 1997, p.49.

A seguir, o quadro 4.1 apresenta um levantamento dos aspectos técnicos gerais do sistema construtivo proposto por Shigeru Ban para este projeto²¹.

Posteriormente, o quadro 4.2 apresenta uma avaliação deste sistema construtivo, considerando-se apenas os aspectos técnicos referentes aos painéis de vedação vertical e aos elementos utilizados para ligá-los à base e à cobertura, identificando-se as adequações e as deficiências, para cada caso²².

²¹ A análise técnica da obra foi feita apenas com base nas informações as quais se teve acesso e através da observação das fotos encontradas. Devido a isso, em alguns pontos a análise pode não ser completa.

²² No segundo quadro foram reunidas de forma sistemática as observações feitas através das notas de rodapé ao longo deste texto.

Quadro 4.1 – Aspectos técnicos gerais das residências emergenciais em Kobe.

Aspectos técnicos gerais	
Dimensões da residência	4m de comprimento por 4m de largura por 2m de altura. Área de 16 m ² .
Dimensões dos tubos de papelão e dos painéis de vedação	Tubos de papelão com 108 mm de diâmetro, 4 mm de espessura e 2 m de comprimento. Poucos elementos tiveram comprimento menor para a instalação de janelas. Os painéis de vedação medem 4x2 m.
Materiais associados	Madeira compensada, membrana para tenda, areia, engradados plásticos de cerveja, cabos de aço, espuma adesiva.
Fundação	Feita de engradados plásticos de cerveja cheios de sacos de areia.
Estrutura e/ou Vedação	Os tubos de papelão foram posicionados na vertical, formando painéis portantes com função estrutural e de vedação, transpassados em duas alturas por cabos de aço, e contendo espuma adesiva entre os elementos.
Cobertura	Tesouras feitas de tubos de papelão e elementos de ligação em madeira formaram uma cobertura de duas águas coberta com membrana de tenda.
Elementos de ligação e fixação	Os tubos de papelão dos painéis de vedação foram unidos uns aos outros por cabos de aço que os atravessavam horizontalmente em duas alturas. O mesmo sistema foi usado para ligar os painéis, sendo os cabos de aço de um painel introduzidos no primeiro elemento do painel adjacente. Os painéis de vedação foram encaixados na parte inferior em vigas de madeira que possuíam diafragmas, e na parte superior foram fixados em cintas de madeira em formato de "U" invertido, abrangendo as extremidades dos painéis por fora, e servindo de cinta de amarração e base para a estrutura da cobertura. Os elementos das tesouras foram ligados através de encaixes feitos de madeira.
Aberturas para passagem e ventilação	Em três paredes havia janelas feitas de madeira e, em uma parede, porta. Para fazer os vãos das janelas usaram-se tubos de papelão mais curtos, e para fazer o vão da porta interrompeu-se a disposição dos tubos num segmento da parede. A cobertura permitia aberturas laterais para dissipar o calor e aumentar a ventilação.
Tratamento das peças	Sem informações.
Observações	Usaram-se restos de papéis picados e fibra de vidro para preencher os tubos que formaram os painéis de vedação, para propiciar isolamento térmico e acústico ao ambiente interno.

Quadro 4.2 – Avaliação dos aspectos técnicos dos painéis de vedação empregados nas residências emergenciais em Kobe.

Aspectos técnicos - Painéis de vedação vertical	Avaliação
<p>Dimensões dos tubos de papelão e dos painéis de vedação</p> <p>Tubos de papelão com 108 mm de diâmetro, 4 mm de espessura e 2 m de comprimento. Poucos elementos tiveram comprimento menor para instalação de janelas. Os painéis de vedação medem 4x2 m.</p> <p><i>Comentários: A medida estabelecida para o diâmetro dos tubos proporciona espessura de parede dentro dos padrões, em termos de painéis de vedação. A espessura da parede do tubo de 4mm proporciona rigidez ao elemento neste diâmetro. A mínima variação nas dimensões dos elementos facilita a construção. Porém, o comprimento de 2m possibilita um pé-direito baixo, com relação às medidas comumente utilizadas em países do Ocidente, como o Brasil. As medidas dos painéis são definidas conforme cada projeto, e neste caso são grandes (4x2m), dificultando a montagem, o transporte e a construção, requerendo um número muito grande de pessoas para fazê-lo sem que estes desmontem.</i></p>	Deficiente
<p>Painéis de vedação</p> <p>Os tubos de papelão foram posicionados na vertical, formando painéis portantes com função estrutural e de vedação, transpassados em duas alturas por cabos de aço, e contendo espuma adesiva entre os elementos.</p> <p><i>Comentários: Os tubos de papelão posicionados na vertical promovem maior estabilidade aos painéis devido ao seu formato tubular. Os cabos de aço introduzidos transversalmente nos painéis aumentam a sua rigidez e a resistência à cargas horizontais. A espuma adesiva tem a função de vedar as possíveis frestas entre os elementos.</i></p>	Adequado
<p>Elementos de ligação e fixação</p> <p>Os tubos de papelão dos painéis de vedação foram unidos uns aos outros por cabos de aço que os atravessavam horizontalmente em duas alturas. O mesmo sistema foi usado para ligar os painéis, sendo os cabos de aço de um painel introduzidos no primeiro elemento do painel adjacente. Os painéis de vedação foram encaixados na parte inferior em vigas de madeira que possuíam diafragmas, e na parte superior foram fixados em cintas de madeira em formato de "U" invertido, abrangendo as extremidades dos painéis por fora.</p> <p><i>Comentários: O encaixe dos painéis na parte inferior se fez por dentro dos elementos e individualmente, o que aumenta a rigidez do conjunto. No entanto, este sistema deixou as extremidades inferiores dos tubos abertas nas faces externas dos painéis, permitindo o acesso e instalação de insetos no interior dos elementos. A fixação na parte superior abrangendo os painéis de vedação por fora proporciona baixa resistência a fortes impactos ou cargas horizontais. As ligações confeccionadas em madeira encarecem a construção e exigem mão-de-obra muito especializada. O sistema de travamento entre painéis adjacentes parece eficiente mas, ao se desmontar a construção, para se remover um painel obrigatoriamente devem-se retirar seus cabos de aço e, com isso, soltam-se todos os seus elementos constituintes.</i></p>	Deficiente
<p>Tratamento das peças</p> <p>Sem informações.</p> <p><i>Comentários: Os tubos de papelão necessitam, obrigatoriamente, de proteção à umidade.</i></p>	Deficiente
<p>Observações</p>	

4.1.2. Residências emergenciais em Kaynasli (Turquia)

Após grandes terremotos atingirem a Turquia em 1999, milhares de famílias ficaram desabrigadas. Como membro da *Voluntary Architects' Network (VAN)*, fundada pelo próprio Shigeru Ban na época do ocorrido em Kobe, o arquiteto prestou seus serviços para socorrer cerca de 200.000 pessoas desabrigadas por esta catástrofe.

Imediatamente, Ban recorreu a empresários para conseguir doações de dinheiro e materiais de construção, principalmente de lonas enceradas para cobrir as casas. Muitos materiais foram doados pelos próprios governos da Turquia e do Japão, e estudantes de arquitetura e moradores se incumbiram da construção (McQUAID, 2003).

Nesta ocasião, Ban utilizou suas *"Log Houses"* de tubos de papelão, numa forma adaptada com relação à aplicação feita em 1995, em Kobe. As mudanças feitas foram melhorias com relação ao modo de vida das pessoas e às condições climáticas locais. Conforme Miyake (2009), devido à medida padrão da madeira compensada (usada para o piso das residências) na Turquia ser maior, e ao fato de as famílias turcas serem numerosas, o tamanho das casas foi aumentado. As figuras de 4.14 a 4.16 ilustram o projeto²³.

Figura 4.14 – Planta baixa das casas construídas na Turquia, detalhando a construção de suas bases. Fonte: Miyake, 2009, p.133.

²³ Através da planta baixa (figura 4.14) constata-se que para as residências emergenciais construídas na Turquia foram montados painéis de vedação de até 6m de comprimento. Sendo adotado neste caso o mesmo sistema construtivo utilizado em Kobe, considera-se esta dimensão muito grande e enfatiza-se novamente a dificuldade de transportar e armazenar esses painéis íntegros, além da impossibilidade de se desmontar a construção sem desmanchar os painéis de vedação. As elevações (figura 4.15) também mostram o pé-direito muito baixo, de apenas 2m.

Figura 4.15 – Elevações transversal e longitudinal das casas construídas na Turquia.
Fonte: McQuaid, 2003, p.39.

Figura 4.16 – Planta de cobertura das casas construídas na Turquia.
Fonte: McQuaid, 2003, p.39.

Como se pode notar pelo projeto, o sistema construtivo adotado foi muito semelhante ao utilizado em Kobe. As fundações foram feitas de engradados plásticos de cerveja preenchidos com sacos de areia, sobre as quais se colocaram as vigas de madeira dotadas de diafragmas para o encaixe dos painéis, conforme mostra a figura 4.17.

Figura 4.17 – Construção das bases das casas na Turquia. Fonte: McQuaid, 2003, p.38.

Os painéis de vedação foram construídos com tubos de papelão de 108 mm de diâmetro, 4 mm de espessura e 2 m de comprimento, usando uma espuma adesiva entre as peças para vedar o painel, propiciar isolamento e estanqueidade. Através das figuras 4.18 e 4.19 é possível observar esse detalhe²⁴.

Figura 4.18 – Painéis de vedação empilhados. Fonte: Miyake, 2009, p.133.

Figura 4.19 – Espuma adesiva usada entre os elementos. Fonte: Miyake, 2009, p.133.

De acordo com Miyake (2009), nesta ocasião, os tubos de papelão que formavam os painéis de vedação também foram preenchidos internamente com papéis descartados picados e restos de fibra de vidro.

²⁴ Pelas figuras 4.18 e 4.19, percebe-se que inicialmente os grandes painéis de vedação elaborados por Shigeru Ban foram montados em plano horizontal, unindo-se os tubos com espuma adesiva. Estes painéis eram armazenados empilhados, como mostra a figura 4.18, e posteriormente transportados por várias pessoas até o local da construção, como mostrou a figura 4.1 no projeto exposto anteriormente. Mais uma vez estas figuras evidenciam a possibilidade destes painéis desmontarem durante o seu transporte, manuseio e montagem da construção, além de requererem muitas pessoas e cuidados para estas atividades.

A estrutura da cobertura foi feita com tubos de papelão e peças de madeira para ligação, coberta com lonas plásticas doadas – figura 4.20²⁵.

Figura 4.20 – Estrutura da cobertura sendo construída na Turquia.

Fonte: McQuaid, 2003, p.38.

Muitas residências emergenciais deste tipo foram construídas na Turquia, constituindo uma comunidade temporária, conforme mostram as figuras a seguir²⁶.

Figura 4.21e 4.22 – Comunidade temporária de “Paper Log Houses” na Turquia.

Fonte: Miyake, 2009, p.132.

²⁵ A figura 4.20 mostra que o elemento utilizado como cinta de amarração foi feito em madeira, com seção em formato de “U” invertido, abrangendo as extremidades superiores dos painéis de vedação apenas por fora, o que propicia baixa resistência a cargas horizontais e fortes impactos nestes painéis, podendo romper.

²⁶ A figura 4.21 exibe o detalhe através do qual se pode notar que as extremidades inferiores dos tubos de papelão ficam abertas na face externa dos painéis, permitindo o acesso e instalação de insetos dentro dos elementos. No mais, o mesmo sistema do projeto exposto anteriormente foi usado para travar os painéis nesta ocasião, sendo os cabos de aço de um painel introduzidos no primeiro elemento do painel adjacente; o que provoca a desintegração dos elementos destes painéis ao se desmontar a construção, pois neste caso o primeiro elemento que deve ser obrigatoriamente retirado são os cabos de aço.

A figura abaixo mostra que, internamente, o espaço gerado possibilitava sua ocupação da mesma forma que numa residência permanente e comum.

Figura 4.23 – Ocupação de uma residência na Turquia. Fonte: McQuaid, 2003, p.38.

A seguir, os quadros 4.3 e 4.4 apresentam, respectivamente, um levantamento dos aspectos técnicos gerais do sistema construtivo proposto por Shigeru Ban para este projeto²⁷ e uma avaliação deste sistema construtivo, considerando-se apenas os aspectos técnicos relativos aos painéis de vedação vertical e aos elementos utilizados para ligá-los à base e à cobertura, identificando-se para cada caso as adequações e as deficiências²⁸.

²⁷ A análise técnica da obra foi feita apenas com base nas informações as quais se teve acesso e através da observação das fotos encontradas. Devido a isso, em alguns pontos a análise pode não ser completa.

²⁸ Neste segundo quadro foram reunidas de forma sistemática as observações feitas através das notas de rodapé ao longo deste texto.

Quadro 4.3 – Aspectos técnicos gerais das residências emergenciais na Turquia.

Aspectos técnicos gerais
Dimensões da residência
6m de comprimento por 3m de largura por 2m de altura. Área de 18 m².
Dimensões dos tubos de papelão e dos painéis de vedação
Tubos de papelão com 108 mm de diâmetro, 4mm de espessura e 2m de comprimento. Poucos elementos tiveram comprimento menor para a instalação de janelas. Os painéis de vedação medem 3x2 m e 6x2m.
Materiais associados
Madeira compensada, lonas enceradas, areia, engradados plásticos de cerveja, cabos de aço, espuma adesiva.
Fundação
Feita de engradados plásticos de cerveja preenchidos internamente com sacos de areia.
Estrutura e/ou Vedação
Os tubos de papelão foram posicionados na vertical, formando painéis portantes com função estrutural e de vedação, transpassados transversalmente em duas alturas por cabos de aço, e vedados com espuma adesiva entre os elementos. Papéis descartados picados e restos de fibra de vidro preencheram os tubos de papelão.
Cobertura
Tesouras feitas de tubos de papelão e peças de ligação de madeira formaram uma cobertura de duas águas coberta com lonas enceradas.
Elementos de ligação e fixação
Os tubos de papelão dos painéis de vedação foram unidos uns aos outros por cabos de aço que os atravessavam horizontalmente em duas alturas. O mesmo sistema foi usado para ligar os painéis, sendo os cabos de aço de um painel introduzidos no primeiro elemento do painel adjacente. Os painéis de vedação foram encaixados na parte inferior em cintas de madeira que possuíam diafragmas, e na parte superior foram fixados em cintas de madeira em formato de "U" invertido, abrangendo as extremidades dos painéis por fora, e funcionaram como cinta de amarração e base para a cobertura. Os elementos das tesouras foram ligados através de encaixes feitos de madeira.
Aberturas para passagem e ventilação
Duas paredes possuíam janelas feitas de madeira compensada e uma outra parede possuía uma porta. Para fazer os vãos das janelas usaram-se tubos de papelão mais curtos, e para fazer o vão da porta interrompeu-se a disposição dos tubos num segmento da parede.
Tratamento das peças
Sem informações.
Observações

Quadro 4.4 – Avaliação dos aspectos técnicos dos painéis de vedação empregados nas residências emergenciais na Turquia.

Aspectos técnicos - Painéis de vedação vertical		Avaliação
Dimensões dos tubos de papelão e dos painéis de vedação		
<p>Tubos de papelão com 108 mm de diâmetro, 4mm de espessura e 2m de comprimento. Poucos elementos tiveram comprimento menor para instalação de janelas. Os painéis de vedação medem 3x2 m e 6x2 m.</p> <p><i>Comentários: A medida estabelecida para o diâmetro dos tubos proporciona espessura de parede dentro dos padrões, em termos de painéis de vedação. A espessura da parede do tubo de 4mm proporciona rigidez ao elemento neste diâmetro. A mínima variação nas dimensões dos elementos facilita a construção. Porém, o comprimento de 2m possibilita um pé-direito baixo, com relação às medidas comumente utilizadas em países do Ocidente, como o Brasil. As medidas dos painéis são definidas conforme cada projeto, e neste caso são grandes (3x2m e 6x2m), dificultando a montagem, o transporte e a construção, requerendo um número muito grande de pessoas para fazê-lo sem que estes desmontem.</i></p>		Deficiente
Painéis de vedação		
<p>Os tubos de papelão foram posicionados na vertical, formando painéis portantes com função estrutural e de vedação, transpassados transversalmente em duas alturas por cabos de aço, e vedados com espuma adesiva entre os elementos. Papéis descartados picados e restos de fibra de vidro preencheram os tubos de papelão.</p> <p><i>Comentários: Os tubos de papelão posicionados na vertical promovem maior estabilidade aos painéis devido ao seu formato tubular. Os cabos de aço introduzidos transversalmente nos painéis aumentam a sua rigidez e a resistência à cargas horizontais. A espuma adesiva tem a função de vedar as possíveis frestas entre os elementos. O preenchimento interno dos tubos pode contribuir para os isolamentos térmico e acústico.</i></p>		Adequado
Elementos de ligação e fixação		
<p>Os tubos de papelão dos painéis de vedação foram unidos uns aos outros por cabos de aço que os atravessavam horizontalmente em duas alturas. O mesmo sistema foi usado para ligar os painéis, sendo os cabos de aço de um painel introduzidos no primeiro elemento do painel adjacente. Os painéis de vedação foram encaixados na parte inferior em cintas de madeira que possuíam diafragmas, e na parte superior foram fixados em cintas de madeira em formato de "U" invertido, abrangendo as extremidades dos painéis por fora.</p> <p><i>Comentários: O encaixe dos painéis na parte inferior se fez por dentro dos elementos e individualmente, o que aumenta a rigidez do conjunto. No entanto, este sistema deixou as extremidades inferiores dos tubos abertas nas faces externas dos painéis, permitindo o acesso e instalação de insetos dentro dos elementos. A fixação na parte superior abrangendo os painéis de vedação por fora diminuem a resistência a fortes impactos ou cargas horizontais. As ligações confeccionadas em madeira encarecem a construção e exigem mão-de-obra muito especializada. O sistema de travamento entre painéis adjacentes parece eficiente mas, ao se desmontar a construção, para se remover um painel obrigatoriamente devem-se retirar seus cabos de aço e, com isso, soltam-se todos os seus elementos constituintes.</i></p>		Deficiente
Tratamento das peças		
<p>Sem informações.</p> <p><i>Comentários: Os tubos de papelão necessitam, obrigatoriamente, de proteção à umidade.</i></p>		Deficiente
Observações		

4.1.3. Residências emergenciais em Bhuj (Índia)

No Oeste da Índia, em 2001, o maior terremoto de sua história deixou mais de 600.000 pessoas desabrigadas. Assim, Shigeru Ban foi contatado por uma empresária indiana, Sr^a. Neeta Premchand, para trabalhar em conjunto com um arquiteto local, Kartikeya Shodhan, e construir cerca de vinte unidades habitacionais para algumas das vítimas; sendo o projeto financiado por ela (McQUAID, 2003).

Dessa vez, Ban elaborou uma estrutura semelhante às anteriores; entretanto, com uma quantidade bem maior de adaptações. A figura a seguir mostra a planta baixa das residências emergenciais construídas na Índia.

Figura 4.24 – Planta baixa das residências emergenciais na Índia.

Fonte: Miyake, 2009, p.130.

De acordo com Miyake (2009), como se tratava de uma área mulçumana, as bebidas alcoólicas eram proibidas na região e, por isso, foi difícil encontrar engradados plásticos de cerveja para a fundação. Pela planta baixa, figura 4.24, o corte e o detalhamento, figuras 4.25 e 4.26, se pode observar que a estrutura da construção compreendeu seis sapatas de

concreto, sendo que as quatro principais sob a construção foram ligadas por uma cinta de concreto, e o contra piso foi feito utilizando-se entulho²⁹.

Figura 4.25 – Corte das residências emergenciais na Índia.
Fonte: Miyake, 2009, p.130.

Figura 4.26 – Detalhe construtivo das residências emergenciais na Índia.
Fonte: Miyake, 2009, p.130.

Sobre a cinta de amarração das sapatas foram posicionados os painéis de vedação feitos com tubos de papelão de 108 mm de diâmetro, 4mm de espessura e 2 m de comprimento, transpassados transversalmente em duas alturas por cabos de aço.

Os quatro tubos de papelão localizados nas quinas e os dois que sustentavam a cobertura do terraço formaram pilares, estruturados internamente com uma barra de aço de 10 mm de diâmetro e preenchidos com argamassa.

²⁹ Pelas figuras 4.24 a 4.27 percebe-se que neste projeto Shigeru Ban também utilizou baixo pé-direito, painéis de vedação de grandes dimensões, o que não facilita o transporte e a construção, e cabos de aço para travar um painel ao outro, provocando a desestruturação desses painéis numa possível desmontagem da construção.

Sobre os painéis de vedação foram colocadas vigas de madeira deitadas, servindo de apoio para a estrutura de bambu da cobertura. Todo este conjunto foi travado pelas barras de aço dos pilares, que atravessavam as vigas de madeira e os elementos de bambu que faziam a base da estrutura da cobertura, e eram ancoradas inferiormente na fundação.

A cobertura foi feita com uma estrutura de bambu em formato curvo, sobre a qual se dispuseram duas camadas de esteiras de cana trançada, com uma camada de plástico fino ao meio (McQUAID, 2003). O fechamento do vão existente entre a parte superior dos painéis de vedação e a curvatura da cobertura foi feito com bambus de pequeno diâmetro; assim como as folhas das portas e janelas.

A figura a seguir ilustra todo esse processo construtivo³⁰.

Figura 4.27 – Perspectiva explodida das residências emergenciais na Índia.
Fonte: Miyake, 2009, p.130.

³⁰ O sistema criado, utilizando barras de aço por dentro dos pilares dispostos nas quinas, prendendo ao mesmo tempo a cobertura e os painéis na fundação parece eficiente. Entretanto, os pontos intermediários dos painéis ficam apenas apoiados e pressionados entre a cinta superior de madeira e a cinta inferior de concreto; o que diminui a resistência do conjunto a fortes impactos ou cargas horizontais. O sistema de travamento entre painéis adjacentes parece eficiente, mas ao se desmontar a construção para se remover um painel, obrigatoriamente devem-se retirar seus cabos de aço e, com isso, soltam-se todos os seus elementos constituintes.

As figuras de 4.28 a 4.30 mostram as vistas externas e internas dessas residências emergenciais construídas na Índia, e o aspecto da comunidade provisória formada.

Figuras 4.28 e 4.29 – Vistas externas das residências emergenciais na Índia.
Fonte: Miyake, 2009, p.131.

Figura 4.30 – Vista interna de uma residência construída na Índia. Fonte: Miyake, 2009, p.131.

Além do uso residencial, algumas unidades foram construídas para outras funções como, no caso abaixo, uma sala de aula.

Figura 4.31 – Unidade usada como sala de aula na Índia. Fonte: Miyake, 2009, p.130.

A seguir, os quadros 4.5 e 4.6 reúnem, respectivamente, informações sobre os aspectos técnicos gerais do sistema construtivo proposto por Shigeru Ban para este projeto³¹ e uma avaliação dos aspectos técnicos relativos aos painéis de vedação vertical e aos elementos utilizados para ligá-los à base e à cobertura, identificando-se para cada caso as adequações e as deficiências³².

³¹ A análise técnica da obra foi feita apenas com base nas informações as quais se teve acesso e através da observação das fotos encontradas. Devido a isso, em alguns pontos a análise pode não ser completa.

³² Neste segundo quadro foram reunidas de forma sistemática as observações feitas através das notas de rodapé ao longo deste texto.

Quadro 4.5 – Aspectos técnicos gerais das residências emergenciais na Índia.

Aspectos técnicos gerais	
Dimensões da residência	5m de comprimento por 3,30m de largura por 2m de altura. Área de 16 m ² .
Dimensões dos tubos de papelão e dos painéis de vedação	Tubos de papelão com 108 mm de diâmetro, 4mm de espessura e 2m de comprimento. Poucos elementos tiveram comprimento menor para a instalação de janelas. Os painéis de vedação medem 3,30x2m e 5x2m.
Materiais associados	Madeira compensada, cabos de aço, argamassa, entulho, esteira de cana trançada, plástico para cobertura, barras de aço, bambu.
Fundação	Seis sapatas de concreto, sendo que quatro delas foram ligadas por uma cinta de amarração de concreto.
Estrutura e/ou Vedação	Os tubos de papelão foram posicionados na vertical, formando painéis portantes que continham cabos de aço transpassando-os transversalmente, em duas alturas. Os tubos de papelão posicionados nas quinas e os que sustentavam a cobertura do terraço, na frente da casa, possuíam internamente uma barra de aço e argamassa, e estavam apoiados numa pequena sapata de concreto.
Cobertura	A cobertura, em arco, usou bambu para a estrutura e foi coberta com duas camadas de esteiras de cana trançada. No meio destas, foi colocado um plástico fino de cor clara, para não escurecer o ambiente.
Elementos de ligação e fixação	Os painéis de vedação foram apoiados sobre a base de concreto e, sobre eles foram apoiadas cintas de amarração de madeira. O conjunto foi preso à fundação através das barras de aço introduzidas nos pilares. Cabos de aço transpassaram os tubos de papelão em duas alturas para unir os elementos e os painéis adjacentes.
Aberturas para passagem e ventilação	A parede frontal continha a porta e a parede posterior continha uma janela, ambas feitas de bambu.
Tratamento das peças	Sem informações.
Observações	

Quadro 4.6 – Avaliação dos aspectos técnicos dos painéis de vedação empregados nas residências emergenciais na Índia.

Aspectos técnicos - Painéis de vedação vertical		Avaliação
Dimensões dos tubos de papelão e dos painéis de vedação		
<p>Tubos de papelão com 108 mm de diâmetro, 4mm de espessura e 2m de comprimento. Poucos elementos tiveram comprimento menor para instalação de janelas. Os painéis de vedação medem 3,30x2 m e 5x2 m.</p> <p><i>Comentários: A medida estabelecida para o diâmetro proporciona espessura de parede dentro dos padrões, em termos de painéis de vedação. A espessura de 4mm proporciona rigidez ao tubo neste diâmetro. A mínima variação nas dimensões dos elementos facilita a construção. Porém, o comprimento de 2m possibilita um pé-direito baixo, com relação às medidas comumente utilizadas em países do Ocidente, como o Brasil. As medidas dos painéis são definidas conforme cada projeto, e neste caso são grandes (3,30x2m e 5x2m), dificultando a montagem, o transporte e a construção, requerendo um número muito grande de pessoas para fazê-lo sem que estes desmontem.</i></p>		Deficiente
Painéis de vedação		
<p>Os tubos de papelão foram posicionados na vertical, formando painéis portantes que continham cabos de aço transpassando-os transversalmente, em duas alturas. Os tubos de papelão posicionados nas quinas e os que sustentavam a cobertura do terraço, na frente da casa, possuíam internamente uma barra de aço e argamassa, e estavam apoiados numa pequena sapata de concreto.</p> <p><i>Comentários: Os tubos de papelão posicionados na vertical promovem maior estabilidade aos painéis devido ao seu formato tubular. Os cabos de aço introduzidos transversalmente nos painéis aumentam a sua rigidez e a resistência à cargas horizontais. Os pilares formados com os tubos de papelão são necessidades que podem ou não existir dependendo do projeto.</i></p>		Adequado
Elementos de ligação e fixação		
<p>Os painéis de vedação foram apoiados sobre a base de concreto e, sobre eles foram apoiadas cintas de amarração de madeira. O conjunto foi preso à fundação através das barras de aço introduzidas nos pilares. Os tubos de papelão que formavam os painéis foram unidos por cabos de aço.</p> <p><i>Comentários: O sistema criado, utilizando barras de aço por dentro dos pilares dispostos nas quinas, prendendo ao mesmo tempo a cobertura e os painéis na fundação parece eficiente. Entretanto, os pontos intermediários dos painéis ficam apenas apoiados e pressionados entre a cinta superior de madeira e a cinta inferior de concreto; o que diminui a resistência do conjunto a fortes impactos ou cargas horizontais. O sistema de travamento entre painéis adjacentes parece eficiente mas, ao se desmontar a construção, para se remover um painel obrigatoriamente devem-se retirar seus cabos de aço e, com isso, soltam-se todos os seus elementos constituintes.</i></p>		Deficiente
Tratamento das peças		
<p>Sem informações.</p> <p><i>Comentários: Os tubos de papelão necessitam, obrigatoriamente, de proteção à umidade.</i></p>		Deficiente
Observações		

4.2. Considerações finais sobre os painéis de vedação vertical de tubos de papelão executados por Shigeru Ban

A análise feita acima às obras nas quais Shigeru Ban empregou painéis de vedação vertical de tubos de papelão possibilitou uma avaliação detalhada do ponto de vista dos aspectos técnicos destes painéis e suas ligações, revelando diversas falhas e imperfeições cometidas pelo arquiteto nestes projetos.

Desta análise puderam-se extrair elementos norteadores para o desenvolvimento do projeto de painéis de vedação vertical de tubos de papelão propostos por este trabalho. Estes elementos, que foram pontuados nas notas de rodapé, foram traduzidos em adequações e deficiências, constituindo-se as primeiras em itens a serem mantidos no projeto desenvolvido por este trabalho, e as segundas em itens para os quais se devem propor soluções e buscar melhorias.

Contudo, outras considerações relativas às três obras expostas neste capítulo podem ser extraídas dessa análise, e dizem respeito aos aspectos da sustentabilidade, racionalização, modulação e construtibilidade.

Quanto à sustentabilidade, os tubos de papelão promovem o uso de resíduos de papéis descartados e podem ser reutilizados por diversas vezes. Além disso, após estarem danificados os tubos de papelão podem ser reciclados, gerando novos elementos idênticos. Os resíduos de papel não necessitam passar por processos de transformação para serem reciclados e gerarem os tubos de papelão, e o processo de fabricação destes tem baixo consumo energético e baixo impacto ambiental.

A inclusão de princípios de racionalização pelo arquiteto Shigeru Ban em suas obras pode ser notada ao se evitarem variações nas dimensões dos elementos, e ao se promover uma construção limpa e sem sobras de material através do sistema construtivo adotado. Além disso, os elementos tiram proveito do formato tubular para terem a resistência mecânica necessária e, não sendo maciços, não consomem matérias-primas de forma

demasiada nem geram desperdício de materiais; contribuindo também para a sustentabilidade.

Conquanto, observando-se os projetos dos painéis de vedação percebe-se a ausência de modulação, e que estes são confeccionados nas dimensões necessárias para cada projeto. Geralmente esses painéis tornam-se muito grandes, prejudicando a construtibilidade, e no caso da construção ser desmontada e montada outras vezes, estes devem ser dispostos sempre da mesma maneira, restringindo as suas possibilidades de uso e variações na planta baixa, gerando construções com única possibilidade de configuração.

No caso da construtibilidade, várias falhas podem ser apontadas. Primeiramente, os painéis de vedação usados por Shigeru Ban foram construídos em plano horizontal colando-se os tubos de papelão (já dotados dos orifícios pelos quais os cabos de aço seriam introduzidos) uns aos outros com a espuma adesiva, até se atingir a medida determinada do painel.

Depois, os painéis formados eram empilhados e aguardavam o momento de serem acoplados sobre a sua base, para formar a edificação. Somente após todos os painéis serem dispostos na sua devida posição e lugar, os cabos de aço eram introduzidos fazendo-se a amarração entre os elementos e entre os painéis adjacentes.

Além de requerer um número muito grande de pessoas e cuidados especiais para realizar estas atividades, este processo construtivo deixa indícios de que os painéis de vedação vertical de tubos de papelão elaborados e construídos por Shigeru Ban se desintegram facilmente, tanto devido ao seu tamanho, como pelo fato de os elementos estruturantes (cabos de aço) desses painéis serem introduzidos após a montagem da edificação e serem o primeiro elemento retirado numa eventual desmontagem.

Dessa forma, os grandes painéis são manuseados e transportados sem estarem estruturados, podendo desmontar e deixando dúvida quanto ao relato de Shigeru Ban sobre a possibilidade de montagem, desmontagem e reutilização desses painéis por várias vezes.

O quadro 4.7 resume esta discussão, definindo estes últimos aspectos abordados como adequados ou deficientes, com relação ao modo como Shigeru Ban os introduziu em seus projetos.

Quadro 4.7 – Análise de outros fatores referentes aos painéis de vedação vertical de Shigeru Ban.

Outros fatores - Painéis de vedação vertical		Avaliação
Sustentabilidade <i>Comentários: Os tubos de papelão propiciam o uso de resíduos de papéis descartados e podem ser reutilizados por diversas vezes. Além disso, após estarem danificados os tubos de papelão podem ser reciclados, gerando novos elementos idênticos. Os resíduos de papel não necessitam passar por processos de transformação para serem reciclados e gerarem os tubos de papelão. Este é um processo de baixo consumo energético e baixo impacto ambiental.</i>		Adequado
Racionalização <i>Comentários: O uso de tubos de papelão com mínima variação nas suas dimensões e o sistema construtivo adotado propiciam uma construção limpa e sem sobras de material. Os elementos tiram proveito do formato tubular para terem a resistência mecânica necessária e, não sendo maciços, não consomem matérias-primas de forma demasiada nem geram desperdício de materiais.</i>		Adequado
Modulação <i>Comentários: Os painéis de vedação de tubos de papelão utilizados por Shigeru Ban não são modulares, sendo confeccionados nas dimensões necessárias para cada projeto. Geralmente esses painéis tornam-se muito grandes, prejudicando a construtibilidade, e no caso da construção ser desmontada e montada outras vezes, estes devem ser dispostos sempre da mesma maneira, restringindo as suas possibilidades de uso e variações na planta baixa, gerando construções com possibilidade única de configuração.</i>		Deficiente
Construtibilidade <i>Comentários: A construtibilidade é comprometida pela ausência de modulação e pelo fato de os grandes painéis de vedação serem estruturados com os cabos de aço que os atravessam em duas alturas apenas depois destes serem acoplados em suas bases; o que requer muitas pessoas e cuidados especiais para evitar a desintegração dos elementos. O sistema de travamento entre painéis adjacentes também impossibilita que a construção seja desmontada preservando-se os painéis íntegros e que estes sejam reutilizados por diversas vezes.</i>		Deficiente

A partir de toda essa análise, no capítulo seguinte serão propostas soluções para todas as deficiências identificadas nos projetos de Shigeru Ban estudados neste capítulo e proposto um painel de vedação vertical de tubos de papelão para ser testado por este trabalho.

5 . P R O P O S T A D E P A I N E L D E V E D A Ç Ã O V E R T I C A L D E T U B O S D E P A P E L Ã O

Considerando a necessidade de se empregar resíduos em componentes na construção civil, conforme demonstrado nos capítulos 2 e 3, o foco nas vedações verticais, uma vez que constituem o subsistema que mais consome materiais em sua execução, conforme o item 2.3.1, e o estudo apresentado no capítulo anterior sobre os painéis de vedação vertical de tubos de papelão utilizados por Shigeru Ban em suas obras, é proposto neste trabalho um painel de vedação vertical de tubos de papelão, o qual é testado no capítulo 6 para análise de seu desempenho.

5.1. Fatores considerados para a proposta de painel de vedação vertical de tubos de papelão

A proposta do painel de vedação vertical de tubos de papelão que será apresentada a seguir levou em consideração as deficiências e adequações observadas nos painéis de vedação usados por Shigeru Ban em suas obras - vide capítulo 4.

As adequações e deficiências identificadas se referem principalmente aos aspectos técnicos dos painéis de vedação usados por Shigeru Ban e, por conseguinte, ao seu desempenho técnico; que é um fator de grande relevância para este trabalho, devido aos seus objetivos. Entretanto, também foram observadas e consideradas para o projeto que será exposto a seguir adequações e deficiências relativas a outros fatores, como sustentabilidade, racionalização, modulação e construtibilidade.

Os quadros 5.1 e 5.2 apresentam resumidamente as adequações constatadas através do estudo feito no capítulo anterior.

Quadro 5.1 – Adequações dos aspectos técnicos identificadas nos painéis de vedação vertical empregados por Shigeru Ban.

Aspectos Técnicos	Adequações	Residências Emergenciais
Dimensões dos tubos de papelão e dos painéis de vedação	Medidas estabelecidas para o diâmetro e a espessura dos tubos de papelão	Kobe, Turquia e Índia
	Variações mínimas nas dimensões dos elementos	Kobe, Turquia e Índia
Painéis de vedação	Tubos de papelão posicionados na vertical	Kobe, Turquia e Índia
	Cabos de aço transpassando os tubos de papelão em duas alturas	Kobe, Turquia e Índia
	Espuma adesiva vedando as frestas entre os elementos	Kobe, Turquia e Índia
Elementos de ligação e fixação	Encaixe dos painéis na parte inferior feito por dentro dos elementos e individualmente	Kobe e Turquia

Quadro 5.2 – Adequações quanto a outros fatores identificadas nos painéis de vedação vertical empregados por Shigeru Ban.

Outros Fatores	Adequações
Sustentabilidade	Uso de resíduos de papéis descartados
	Possibilidade de reutilização e reciclagem dos elementos
	Os resíduos de papel não necessitam passar por processos de transformação para serem reciclados
	O processo de reciclagem possui baixo consumo energético e baixo impacto ambiental
Racionalização	Mínima variação nas dimensões dos elementos
	Processo construtivo limpo, sem sobras de materiais ou desperdícios
	Os elementos tubulares e vazados não consomem materiais de forma demasiada nem geram desperdício de materiais

De forma análoga, os quadros 5.3 e 5.4 apresentam resumidamente as deficiências apontadas no capítulo anterior sobre os painéis de vedação vertical de tubos de papelão elaborados por Shigeru Ban.

Quadro 5.3 – Deficiências dos aspectos técnicos identificadas nos painéis de vedação vertical empregados por Shigeru Ban.

Aspectos Técnicos	Deficiências	Residências Emergenciais
Dimensões dos tubos de papelão e dos painéis de vedação	Tubos de papelão com comprimento pequeno	Kobe, Turquia e Índia
	Painéis de vedação com dimensões muito grandes	Kobe, Turquia e Índia
Elementos de ligação e fixação	Extremidades inferiores dos tubos de papelão abertas nas faces externas dos painéis	Kobe e Turquia
	Fixação dos painéis na parte superior por elemento que os abrange apenas por fora	Kobe e Turquia
	Travamento entre painéis feito pelo mesmo elemento que une os tubos de papelão	Kobe, Turquia e Índia
	Painéis apenas apoiados e pressionados entre as cintas de amarração superior e inferior	Índia
	Elementos de ligação confeccionados em madeira	Kobe e Turquia
Tratamento das peças	Não há informações sobre a proteção contra umidade	Kobe, Turquia e Índia

Quadro 5.4 – Deficiências quanto a outros fatores identificadas nos painéis de vedação vertical empregados por Shigeru Ban.

Outros Fatores	Deficiências
Modulação	Os painéis de vedação não são modulares
Construtibilidade	Os painéis de vedação têm dimensões muito grandes e são estruturados apenas depois de estarem acoplados em suas bases
	O sistema de travamento entre painéis adjacentes é o mesmo utilizado para unir os tubos de papelão
	Necessidade de muitas pessoas e cuidados especiais para executar a construção

Com base nas adequações e deficiências listadas acima, buscou-se desenvolver um projeto de painel de vedação vertical de tubos de papelão que apresentasse as mesmas adequações, porém, com soluções para as deficiências identificadas.

Isto significa que, para desenvolver o projeto apresentado a seguir, partiu-se do princípio de manter as adequações observadas nos painéis de vedação empregados por Shigeru Ban, e ter nos pontos considerados deficientes as grandes diferenças sugeridas.

5.2. Projeto de painel de vedação vertical de tubos de papelão

Primeiramente, vale ressaltar que o projeto do painel de vedação vertical de tubos de papelão elaborado não teve como condição nenhum tipo de uso ou aplicação em específico³³.

O projeto apresentado adiante foi condicionado apenas pelas adequações e busca por soluções para as deficiências apontadas acima, almejando-se boas soluções para as questões técnicas, desempenho satisfatório para que o painel possa ser empregado em países como o Brasil, e a incorporação de princípios de sustentabilidade, racionalização e

³³ Segue como intenção do trabalho, sugerir alguns tipos de uso e aplicação do painel proposto por este trabalho após a análise de desempenho do mesmo.

modulação, além de melhorias para a construtibilidade, com relação às construções executadas por Shigeru Ban.

Além do projeto do painel de vedação vertical, foi projetado o sistema construtivo para o seu emprego, compreendendo o sistema de ligação desses painéis na base e na cobertura, e o sistema de travamento entre os painéis adjacentes. Assim sendo, as principais propostas na tentativa de solucionar as deficiências expostas nas tabelas 5.3 e 5.4, foram:

- utilizar tubos de papelão com 2,40m de comprimento para propiciar um pé-direito compatível com o habitual em países ocidentais;
- adotar a modulação de 1,20m x 2,40m para favorecer a construtibilidade e propiciar facilidade no transporte e armazenamento dos componentes íntegros, além de praticidade na montagem e desmontagem da construção, além de conferir-lhe a possibilidade de ser montada de formas diferentes a cada uso;
- utilizar barras roscadas para promover resistência às cargas horizontais nos painéis, ao invés de cabos de aço, que são mais finos e menos rígidos;
- o desenvolvimento de peças de ligação em argamassa armada (que é uma tecnologia bastante difundida no Brasil), com a função de fazer o travamento entre painéis adjacentes (independente do travamento entre os elementos constituintes dos painéis de vedação) e ligar os painéis de vedação à base e à cobertura, com saliências que se encaixam por dentro de cada tubo de papelão, aumentando a resistência do conjunto;
- o uso de anéis de borracha e massa de calafetação sob os tubos de papelão para evitar o contato com água e a absorção de umidade pelas bases dos elementos;
- a aplicação de resinas impermeabilizantes comerciais à base de água, em duas demãos, para dar proteção superficial aos painéis de vedação contra umidade.

Devido ao objetivo complementar do trabalho de construir uma célula-teste para avaliar o desempenho técnico do painel proposto quando submetido a situações reais de exposição, foi elaborado um projeto para

esta finalidade, que também será apresentado neste capítulo, compreendendo ainda fundação e cobertura³⁴.

A seguir, os projetos do painel de vedação vertical de tubos de papelão e da célula-teste são explicados dividindo-se por itens³⁵.

Painel de vedação vertical

A medida padrão adotada para o painel de vedação vertical foi de 1,20 x 2,40 m, sendo este constituído de tubos de papelão com 100 mm de diâmetro externo, 90 mm de diâmetro interno, 5 mm de espessura de parede e 2400 mm de comprimento.

Os tubos de papelão foram dispostos na vertical e transpassados na horizontal por barras roscadas de 8 mm de diâmetro, dotadas de arruelas e porcas em suas extremidades, para unir os elementos e promover rigidez ao painel.

Foram projetados três tipos de painéis, sendo um cego (Painel A), um com porta (Painel B), e outro com janela (Painel C).

Foram propostos orifícios nas laterais desses painéis, para possibilitar um encaixe do tipo macho-e-fêmea com as porcas e arruelas dos painéis adjacentes.

Peças de ligação

Para ligar os painéis de vedação vertical à base e à cobertura (ou laje superior), foram projetadas duas peças de ligação em argamassa armada: uma para unir painéis na mesma direção, outra para unir painéis à 90°.

Estas peças são maciças e possuem saliências cilíndricas que encaixam perfeitamente dentro dos tubos de papelão. Orifícios na base destas peças permitem a sua fixação no piso, contra piso ou radier.

As peças de ligação dispostas sobre os painéis de vedação podem ser fixadas na laje superior através dos seus orifícios, ou podem servir como base para a estrutura da cobertura, usando-se esses orifícios para ligar os elementos.

³⁴ Cabe salientar que o objetivo principal deste trabalho se limita à análise de desempenho apenas do subsistema vedação vertical.

³⁵ Detalhes a respeito da execução de cada parte serão expostos no item 5.3.

Há ainda outra função atribuída a essas peças de ligação em argamassa armada: fazer o travamento entre painéis adjacentes, uma vez que são dispostas em amarração com relação a estes; conforme poderá ser visualizado no projeto apresentado a seguir.

Célula-teste

O projeto da célula-teste consta de uma planta baixa em formato quadrado, medindo 2,50x2,50m. O pé-direito mínimo é de 2,50m e o máximo, devido à inclinação da cobertura e à ausência de forro, é de 3,40m.

Cada uma de suas faces foi composta por dois painéis de vedação vertical de tubos de papelão, e orientada perfeitamente para um dos quatro pontos cardeais (Norte, Sul, Leste e Oeste).

Fundação

A fundação adotada foi uma fundação rasa do tipo radier, medindo 3,50 x 3,50 m, e altura de 15 cm.

Cobertura

Optou-se por utilizar um sistema de cobertura convencional, composto por uma única água, com estrutura tradicional em madeira.

Entretanto, para estabelecer uma relação com a questão da sustentabilidade sugerida pelo trabalho, adotou-se madeira de eucalipto para a estrutura e telhas de fibras vegetais recicladas para a cobertura.

Da mesma forma, para o fechamento das empenas entre os painéis de vedação vertical e a cobertura, usou-se chapas de OSB.

Esquadrias

Foram usados batentes de madeira de angelim e folhas de fechamento de madeira de eucalipto.

O projeto arquitetônico completo, composto por plantas baixas, cortes, elevações e detalhamento, é apresentado a seguir.

Esta tese gerou grande repercussão na mídia (internet, rádio, televisão, jornais e revistas) e diversos artigos publicados em eventos científicos e periódicos nacionais e internacionais. Todos os produtos desta tese (painéis de vedação, peças de ligação e sistema construtivo) geraram patente.

COMPONENTES CONSTRUTIVOS

SISTEMA CONSTRUTIVO

10 LIGAÇÃO PAINÉIS A-A
Escala 1:15

11 DETALHE E
Escala 1:10

12 LIGAÇÃO PAINÉIS A-B
Escala 1:15

13 LIGAÇÃO PAINÉIS A-C
Escala 1:15

14 FIXAÇÃO SUPERIOR/ INFERIOR DO PAINEL
Escala 1:15

19 DISPOSIÇÃO DAS PEÇAS DE LIGAÇÃO

20 DISPOSIÇÃO DOS PAINÉIS DE VEDAÇÃO VERTICAL

CÉLULA-TESTE

21 PLANTA BAIXA

22 CORTE A-A

23 CORTE B-B

CÉLULA-TESTE

24 ELEVACÃO NORTE
Escala 1:25

25 ELEVACÃO SUL
Escala 1:25

26 ELEVACÃO LESTE
Escala 1:25

27 ELEVACÃO OESTE
Escala 1:25

28 PLANTA BAIXA DA COBERTURA
Escala 1:25

5.3. Construção da célula-teste

Antes de se construir a célula-teste foram necessários alguns preparativos, como a execução do radier e a fabricação dos seus componentes construtivos, já que o projeto desenvolvido por este trabalho propõe um sistema construtivo com componentes pré-fabricados.

Nesta etapa preliminar, além da execução do radier, foram fabricados os painéis de vedação vertical cegos e os dotados de esquadrias, e as peças de ligação em argamassa armada. Por se tratar de uma construção pequena, para facilitar o trabalho das pessoas envolvidas na sua execução e não interferir nos objetivos do trabalho, a estrutura da cobertura também foi previamente preparada.

5.3.1. Fabricação dos componentes construtivos

Painéis de vedação vertical

Os tubos de papelão utilizados para a fabricação dos painéis de vedação vertical foram armazenados no laboratório da universidade, em local seco, arejado e sombreado, sobre uma chapa de madeira compensada – figuras 5.1 e 5.2.

Figuras 5.1 e 5.2 – Tubos de papelão armazenados no laboratório. Fonte: Fotos da autora.

Estes tubos já continham as medidas exatas estabelecidas no projeto, porém algumas peças tiveram de ser cortadas para se fazerem os vãos da porta e da janela. Também foi preciso furar todos os elementos para possibilitar a passagem das barras roscadas – figuras 5.3 e 5.4.

Figuras 5.3 e 5.4 – Corte e furação de peças para a montagem dos painéis.
Fonte: Fotos da autora.

Conforme o tipo do painel (A, B ou C), foram transpassadas barras roscadas com 8 mm de diâmetro em diferentes alturas (vide projeto no item 5.2), dotadas de arruelas e porcas em suas extremidades, para unir os elementos e propiciar resistência à cargas horizontais nesses painéis³⁶.

As esquadrias foram acopladas aos painéis durante a sua fabricação, e os orifícios necessários para promover o encaixe do tipo macho-e-fêmea entre painéis adjacentes também foram executados neste momento.

A montagem dos oito painéis de vedação vertical da célula-teste pode ser observada pelas figuras abaixo.

Figuras 5.5 e 5.6 – Painel A montado. Fonte: Fotos da autora.

³⁶ O painel de vedação vertical do tipo A atingiu o peso de 32,4 kg, com 2,88 m²; ou seja, 11,25 kg/m². Os painéis do tipo B e C podem ter o seu peso variando conforme o tipo de porta e janela que forem adotados. Quanto ao peso por m² da vedação deve-se somar o peso das peças de ligação superior e inferior, sendo 27 kg/m².

Figuras 5.7 e 5.8 – Detalhes do Painel A montado. Fonte: Fotos da autora.

Figuras 5.9 e 5.10 – Esquadrias preparadas e Painel C montado. Fonte: Fotos da autora.

Figuras 5.11 e 5.12 – Painéis de vedação prontos e furação nas laterais. Fonte: Fotos da autora.

A fim de proteger a base dos tubos de papelão do contato com umidade usou-se resina poliuretana à base de óleo de mamona³⁷, de duas formas diferentes. Dessa maneira, em metade dos painéis da célula-teste a resina poliuretana à base de óleo de mamona foi aplicada com o auxílio de uma bsnaga, formando uma espécie de capeamento na base dos tubos - figura 5.13. Nos demais painéis, a resina poliuretana à base de óleo de mamona foi aplicada com um pincel, formando apenas uma película³⁸ - figura 5.14.

Figuras 5.13 e 5.14 – Impermeabilização das bases dos painéis de vedação vertical.
Fonte: Fotos da autora.

Peças de ligação

Para a moldagem das peças de ligação em argamassa armada, foram confeccionadas na maquetaria local duas formas em madeira compensada revestidas com chapas de poliestireno. Uma das formas serviu para a produção das peças de ligação retilíneas, ou peças de ligação 1, responsáveis pelo travamento entre painéis dispostos na mesma direção. A outra forma foi usada para a produção das peças de ligação em “L”, ou peças de ligação 2, que tiveram a função de travar painéis adjacentes à 90°.

³⁷ A resina poliuretana à base de óleo de mamona é uma resina bi-componente desenvolvida pelo Grupo de Química Analítica e Tecnologia de Polímeros (GQATP), no Instituto de Química de São Carlos (IQSC), e foi utilizada na proporção de 1:2 (pré-polímero:poliol).

³⁸ O intuito de se aplicar a resina poliuretana à base de óleo de mamona de cada uma dessas duas formas em metade dos painéis da célula-teste foi para testá-las e verificar qual é a mais eficiente para se proteger a base dos tubos de papelão do contato com umidade. A planta baixa de disposição dos painéis de vedação vertical, apresentada junto com o projeto completo no item 5.2, mostra em quais painéis da célula-teste usou-se cada um desses dois tipos de revestimento na base.

As formas confeccionadas para moldar as peças de ligação podem ser vistas nas figuras de 5.15 a 5.18.

Figuras 5.15 e 5.16 – Forma para a moldagem das peças de ligação 1. Fonte: Fotos da autora.

Figuras 5.17 e 5.18 – Forma para a moldagem das peças de ligação 2.
Fonte: Fotos da autora.

As peças de ligação 1 e 2 foram moldadas em argamassa armada, no traço 1:3:x=0,5, e receberam uma armadura em sua base em tela de aço soldada 25 x 25 mm. Cada peça de ligação ficou com 24 kg.

A produção das peças de ligação 1 e 2 podem ser vistas nas figuras a seguir.

Figuras 5.19 e 5.20 – Preparo da forma e início da moldagem das peças de ligação 1.
Fonte: Fotos da autora.

Figuras 5.21 e 5.22 – Moldagem de peça de ligação 1. Fonte: Fotos da autora.

Figuras 5.23 e 5.24 – Peça de ligação 1. Fonte: Fotos da autora.

Figuras 5.25 e 5.26 – Moldagem de peça de ligação 2. Fonte: Fotos da autora.

Figuras 5.27 e 5.28 – Moldagem e peça de ligação 2. Fonte: Fotos da autora.

As peças de ligação que seriam dispostas sobre o radier, ou na parte inferior dos painéis de vedação, tiveram suas bases impermeabilizadas com resina poliuretana à base de óleo de mamona na proporção de 1:2 aplicada com pincel – figura 5.29.

Figura 5.29 – Impermeabilização das bases das peças de ligação inferiores.
Fonte: Fotos da autora.

Vale lembrar que, além de servir para o travamento entre painéis de vedação adjacentes, essas peças de ligação também têm a função de ligar os painéis de vedação vertical à fundação e à estrutura da cobertura.

Radier

Uma fundação rasa do tipo radier foi construída para servir de base à construção da célula-teste, nas medidas de 3,50 x 3,50 m, com 15 cm de altura. Após a demarcação da área de implantação do radier, usou-se uma bússola para orientá-lo corretamente, de forma que cada lado ficasse voltado para um dos pontos cardeais (Norte, Sul, Leste e Oeste) – figuras 5.30 e 5.31.

Figuras 5.30 e 5.31 – Demarcação da área do radier e orientação definida com bússola.
Fonte: Fotos da autora.

Os ângulos retos foram conferidos com o auxílio de uma trena, e o nível do radier foi marcado usando-se mangueira de nível, conforme mostram as figuras 5.32 e 5.33.

Figuras 5.32 e 5.33 – Conferência dos ângulos retos e marcação do nível do radier.
Fonte: Fotos da autora.

Com a forma do radier pronta, foi esticado o plástico grosso usado para a impermeabilização e iniciou-se a concretagem, com concreto usinado ($f_{ck} = 25$ MPa). Uma tela de aço soldada 20 x 20 cm foi usada para estruturar o radier.

As próximas figuras ilustram a sua execução.

Figuras 5.34 e 5.35 – Preparo da forma para a concretagem do radier.
Fonte: Fotos da autora.

Figuras 5.36 e 5.37 – Início da concretagem e colocação da armadura.
Fonte: Fotos da autora.

Figuras 5.38 e 5.39 – Desempenamento e radier concluído.
Fonte: Fotos da autora.

Cobertura

Por ser uma construção pequena e para facilitar o trabalho das pessoas envolvidas na sua execução, optou-se por preparar previamente a estrutura da cobertura, devendo-se apenas erguê-la e fixá-la sobre os painéis de vedação vertical, durante a construção da célula-teste.

As figuras abaixo mostram a estrutura da cobertura sendo preparada em madeira de eucalipto e as telhas de fibras vegetais recicladas aguardando o momento de serem utilizadas.

Figuras 5.40 e 5.41 – Preparo da cobertura.
Fonte: Fotos da autora.

Devido à telha adotada ser bastante leve, o peso próprio da cobertura foi de apenas 16,2 kg/m².

5.3.2. Execução da construção

A construção da célula-teste, propriamente dita, só foi iniciada quando todos os seus componentes estavam prontos: painéis de vedação vertical, peças de ligação, esquadrias, radier e cobertura.

O primeiro passo foi fixar as peças de ligação inferiores sobre o radier. Para isso, inicialmente estas foram colocadas em suas devidas posições, sobre o radier, riscando-se o seu contorno com giz de cera e marcando-se os pontos onde o radier deveria ser perfurado para a posterior fixação destas peças com parabolts.

As figuras a seguir mostram a marcação e a furação do radier.

Figuras 5.42 e 5.43 – Locação da célula-teste sobre o radier. Fonte: Fotos da autora.

Figura 5.44 – Furação do radier. Fonte: Foto da autora.

Para promover uma adequada acomodação das peças de ligação sobre o radier e evitar frestas entre os mesmos, usou-se massa de calafetação, como se pode ver nas figuras 5.45 e 5.46.

Figuras 5.45 e 5.46 – Colocação das peças de ligação inferiores.
Fonte: Fotos da autora.

Com o auxílio de uma régua de madeira verificou-se o alinhamento das peças de ligação posicionadas sobre o radier – figuras 5.47 e 5.48.

Figuras 5.47 e 5.48 – Peças de ligação inferiores. Fonte: Fotos da autora.

Para manter os tubos de papelão elevados e vedar as frestas existentes entre estes e as peças de ligação, ao redor de cada saliência das peças de ligação em argamassa armada, colocou-se massa de calafetação e um anel de borracha de alta densidade com o mesmo diâmetro – figura 5.49.

Figura 5.49 – Colocação da massa de calafetação e anéis de borracha. Fonte: Foto da autora.

Iniciou-se, então, a colocação dos painéis de vedação vertical e das peças de ligação superiores³⁹.

Observa-se, pelas fotos a seguir, que diferentemente dos painéis de vedação empregados por Shigeru Ban, os painéis de vedação vertical

³⁹ Considerando o peso do painel A e das peças de ligação, calculou-se que a vedação vertical executada na célula-teste atingiu 27 kg/m².

usados neste trabalho puderam ser facilmente transportados e encaixados em suas bases por apenas duas pessoas; o mesmo aconteceu com as peças de ligação.

Figuras 5.50 e 5.51 – Colocação dos primeiros painéis de vedação. Fonte: Fotos da autora.

Figuras 5.52 e 5.53 – Colocação dos painéis de vedação e das peças de ligação.
Fonte: Fotos da autora.

Figuras 5.54 e 5.55 – Colocação dos painéis de vedação concluída. Fonte: Fotos da autora.

As figuras de 5.56 a 5.58 mostram alguns detalhes da construção, como a fixação das peças de ligação no radier, o encontro entre duas peças de ligação dispostas em amarração com o painel, a massa de calafetação e os anéis de borracha colocados sob os tubos de papelão, e o sistema de encaixes entre painéis adjacentes.

Figura 5.56 – Encontro entre peças de ligação e painel de vedação. Fonte: Foto da autora.

Figuras 5.57 e 5.58 – Encaixes entre painéis adjacentes. Fonte: Fotos da autora.

Diferentemente do mostrado na figura 5.56, as figuras 5.59 e 5.60 mostram que as peças de ligação superiores ocasionaram a abertura de vãos no meio dos painéis de vedação vertical, o que não era esperado⁴⁰. Assim sendo, a figura 5.61 apresenta um dispositivo composto por quatro cubos de madeira e um cabo de aço, utilizado para promover a união das

⁴⁰ Esperava-se que cada peça de ligação superior encaixando na metade de dois painéis adjacentes (em amarração) faria a união de todos os painéis, funcionando semelhante a uma cinta de amarração, embora estas não formem uma peça única. Entretanto, as peças de ligação superiores acabaram não exercendo esta função, e ainda promoveram a abertura dos vãos entre os elementos no momento em que foram acopladas, o que foi permitido devido à grande distância entre as extremidades dos tubos de papelão e a barra roscada superior. Na parte inferior da construção, o mesmo não aconteceu porque as peças de ligação estavam presas ao radier. Como poderá ser visto adiante, neste caso, a estrutura da cobertura acabou servindo como cinta de amarração superior.

peças de ligação superiores e o fechamento das frestas geradas, possibilitando que a cobertura fosse fixada, mantendo este conjunto na posição correta.

Figuras 5.59 e 5.60 – Frestas entre as peças de ligação superiores. Fonte: Fotos da autora.

Figura 5.61– Dispositivo utilizado para fechar as frestas entre as peças de ligação superiores. Fonte: Foto da autora.

A cobertura, que já estava previamente preparada, foi instalada por partes sobre as peças de ligação superiores. Devido a sua estrutura ser composta por peças grandes e pesadas, esta foi a única etapa da construção da célula-teste que necessitou de mais pessoas para transportar e erguer os seus componentes⁴¹.

As figuras a seguir ilustram a montagem da estrutura da cobertura e a fixação das telhas de fibras vegetais recicladas⁴².

⁴¹ Com exceção deste momento, todas as fases da construção da célula-teste foram executadas por apenas duas pessoas.

⁴² Percebe-se pelas fotos de 5.62 a 5.67 que a construção estava envolvida por lonas plásticas. Isso foi necessário porque na época em que a construção estava sendo executada, a região de São Carlos (SP) ficou encoberta por uma frente fria e muitas nuvens, que causavam chuvas a todo o momento. Assim sendo, os plásticos foram usados para

Figuras 5.62 e 5.63 – Início de montagem da estrutura da cobertura. Fonte: Fotos da autora.

Figuras 5.64 e 5.65 – Estrutura da cobertura finalizada e fixação das telhas.
Fonte: Fotos da autora.

Figuras 5.66 e 5.67 – Finalização da cobertura. Fonte: Fotos da autora.

A seguir vê-se a fixação das peças de ligação superiores na estrutura da cobertura.

proteger os painéis de vedação vertical durante todo o período da construção, até que esta estivesse totalmente concluída e pudesse ser inaugurada.

Figuras 5.68 e 5.69 – Fixação das peças de ligação superiores na estrutura da cobertura.
Fonte: Fotos da autora.

Os próximos passos foram a colocação das folhas de fechamento nas esquadrias, o fechamento das empenas entre os painéis de vedação vertical e a cobertura com chapas de OSB, e a aplicação de resinas impermeabilizantes nos painéis⁴³ – figuras 5.70 e 5.71.

Figuras 5.70 e 5.71 – Colocação das folhas de fechamento nas esquadrias, fechamento das empenas e aplicação de resina impermeabilizante. Fonte: Fotos da autora.

⁴³ Foram usados dois tipos de resinas impermeabilizantes na célula-teste: um com duplo filtro solar (C) e outro comum (E). As resinas impermeabilizantes foram aplicadas em duas demãos e também serviram para vedar as frestas entre os elementos. No projeto completo (vide item 5.2), a planta baixa de disposição dos painéis de vedação vertical mostra quais painéis utilizaram cada tipo de resina. No próximo capítulo serão dados maiores detalhes sobre as diferentes resinas impermeabilizantes que foram testadas neste trabalho, e as escolhidas para serem aplicadas na célula-teste.

Por fim, as massas de calafetação colocadas sob os tubos de papelão foram moldadas, dando acabamento às peças e protegendo do contato com umidade – figura 5.72. Com o mesmo material, vedaram-se as frestas sobre as esquadrias da porta e da janela – figura 5.73.

Figuras 5.72 e 5.73 – Massas de calafetação moldadas. Fonte: Foto da autora.

As figuras a seguir mostram detalhes das ligações executadas nas partes inferior e superior da construção.

Figuras 5.74 e 5.75 – Detalhes das ligações inferior e superior. Fonte: Fotos da autora.

As imagens exibidas a seguir mostram como ficou a célula-teste após a sua construção estar concluída.

Figuras 5.76 e 5.77 – Vistas Sudoeste e Noroeste da célula-teste. Fonte: Fotos da autora.

Figura 5.78 – Vista Sudeste da célula-teste. Fonte: Foto da autora.

Figura 5.79 – Vista Nordeste da célula-teste. Fonte: Foto da autora.

5.3.3. O custo e o tempo de execução

Embora o objetivo principal deste trabalho seja avaliar o desempenho técnico e estrutural do painel de vedação vertical de tubos de papelão proposto, calculou-se o custo/m² dessa vedação e o tempo gasto para executar 1m² da mesma.

Com relação a este último, considerou-se apenas o tempo referente à montagem do subsistema vedação vertical, a partir de todos os seus componentes (painéis de vedação, peças de ligação e esquadrias) prontos. Consideraram-se a instalação das peças de ligação inferiores, a colocação de massa de calafetação e anéis de borracha ao redor de suas saliências, o acoplamento dos painéis de vedação, o encaixe das peças de ligação superiores, a aplicação de resina impermeabilizante nas faces interna e externa em duas demãos, e a modelagem das massas de calafetação.

Vale ressaltar que o tempo calculado a seguir foi o tempo gasto para se executar 1m² das vedações verticais da célula-teste; o que, neste caso, foi feito por apenas duas pessoas⁴⁴.

Para efetuar este cálculo, inicialmente calculou-se a área das vedações verticais da célula-teste. Considerando a medida de cada painel adicionada das duas peças de ligação (inferior e superior), tem-se:

Medidas do painel:

- largura = 1,20 m;
- altura total = 2,48 m.

Área do painel:

$$A_p = 1,20 \times 2,48 = 2,98 \text{ m}^2$$

Como ao todo são oito painéis, tem-se a área total das vedações verticais da célula-teste:

⁴⁴ Cabe ainda salientar que esta primeira oportunidade foi uma experiência inédita inclusa neste trabalho, e que certamente isso contribuiu para aumentar o tempo de execução. Acredita-se que uma empresa ou equipe especializada nesta atividade, com ferramentas, infraestrutura etc desenvolvidas e apropriadas para isso poderia executar 1m² dessas vedações em menos tempo.

Área total:

$$A_t = 8 \times 2,98 = 23,84 \text{ m}^2$$

A tabela a seguir mostra todas as etapas realizadas para a execução das vedações verticais da célula-teste e o tempo gasto em cada uma delas.

Tabela 5.1 – Tempo de execução de vedação vertical externa com impermeabilização, utilizando o sistema construtivo proposto.

Etapas	Tempo de execução (h)	Nº de trabalhadores
Peças de ligação inferiores	1,80	2
Massa de calafetação e anéis de borracha	0,60	2
Painéis de vedação vertical	0,70	2
Peças de ligação superiores	0,70	2
Modelagem da massa de calafetação	3,50	2
Aplicação de resina impermeabilizante (2 demãos)*	10,50	2
Total (23,84 m²)	17,80	2
Total (1 m²)	0,75	2

* Considerou-se a aplicação de resina impermeabilizante nas faces interna e externa, totalizando uma área de 47,68 m², e em duas demãos, sendo ao todo 95,36 m² cobertos com resina.

Como se pode ver pela tabela acima, o tempo total para a execução de toda a vedação vertical da célula-teste por duas pessoas foi de 17,8 horas.

Sendo assim,

$$T_{\text{total}} = 17,8 \text{ h}$$

$$T = \frac{17,8 \text{ h}}{23,84 \text{ m}^2} \quad \Rightarrow \quad T = 0,75 \text{ h/m}^2$$

Contudo, dependendo do tipo de vedação vertical que se pretenda executar com este sistema construtivo, o tempo de execução pode variar.

Desse modo, com base nos dados anteriores, foram calculados os tempos de execução dessas vedações verticais para outras situações.

No caso dessas vedações serem executadas num ambiente interno sem contato com água, seria possível excluir as etapas de colocação e modelagem da massa de calafetação e colocação de anéis de borracha.

O tempo necessário para executar 1m² dessa vedação seria:

Tabela 5.2 – Tempo de execução de vedação vertical interna com impermeabilização, utilizando o sistema construtivo proposto.

Etapas	Tempo de execução (h)	Nº de trabalhadores
Peças de ligação inferiores	0,09	2
Painéis de vedação vertical	0,03	2
Peças de ligação superiores	0,03	2
Aplicação de resina impermeabilizante (2 demãos)*	0,45	2
Total (1 m²)	0,60	2

* Considerou-se a aplicação de resina impermeabilizante nas faces interna e externa, totalizando uma área de 47,68 m², e em duas demãos, sendo ao todo 95,36 m² cobertos com resina.

Percebe-se que nos casos acima a etapa aplicação de resina impermeabilizante em duas demãos aumentou consideravelmente os tempos de execução das vedações verticais.

Portanto, sendo esta etapa muitas vezes considerada um serviço separado da execução das vedações verticais e incluso no serviço geralmente intitulado de pintura, para possibilitar uma comparação com a execução de vedações convencionais⁴⁵, calculou-se o tempo de execução das vedações para as situações acima, excluindo-a⁴⁶ - tabelas 5.3 e 5.4.

⁴⁵ No Anexo A encontram-se tabelas com os tempos de execução de alguns tipos de vedações convencionais.

⁴⁶ Este cálculo também pode ser considerado para situações em que os painéis de vedação sejam fornecidos já com algum revestimento, ou em situações de vedação interna e temporária, por exemplo, em que não haja necessidade de impermeabilizar o material. Entretanto, frisa-se que para a maioria das situações recomenda-se a aplicação de resina impermeabilizante nos painéis de vedação vertical propostos neste trabalho.

Tabela 5.3 – Tempo de execução de vedação vertical externa sem impermeabilização, utilizando o sistema construtivo proposto.

Etapas	Tempo de execução (h)	Nº de trabalhadores
Peças de ligação inferiores	0,09	2
Massa de calafetação e anéis de borracha	0,03	2
Painéis de vedação vertical	0,03	2
Peças de ligação superiores	0,03	2
Modelagem da massa de calafetação	0,15	2
Total (1 m²)	0,30	2

Tabela 5.4 – Tempo de execução de vedação vertical interna sem impermeabilização, utilizando o sistema construtivo proposto.

Etapas	Tempo de execução (h)	Nº de trabalhadores
Peças de ligação inferiores	0,09	2
Painéis de vedação vertical	0,03	2
Peças de ligação superiores	0,03	2
Total (1 m²)	0,15	2

Com relação ao custo de execução da vedação vertical proposta por este trabalho, se considerou somente o custo relativo aos componentes construtivos deste subsistema (painéis de vedação, peças de ligação, massa de calafetação, anéis de borracha e resinas impermeabilizantes)⁴⁷, e à mão-de-obra utilizada⁴⁸.

Contudo, os painéis de vedação e as peças de ligação não foram adquiridos prontos, mas sim foram fabricados no laboratório da universidade e, por este motivo, foi preciso calcular os seus custos. Dessa forma,

⁴⁷ As esquadrias foram excluídas, pois podem ser diferentes conforme o projeto, interferindo nos custos. Considerou-se, portanto, para os cálculos de custo e tempo de execução, painéis de vedação vertical cegos.

⁴⁸ Para o cálculo dos custos referentes à mão-de-obra, utilizaram-se os dados de tempo de execução obtidos através das tabelas 5.1 a 5.4, e os valores do custo/h foram retirados de Guia da Construção (set/2010), considerando-se os dois trabalhadores como um pedreiro ou marceneiro e um ajudante. Para os custos referentes aos materiais, consideraram-se os valores das notas fiscais dos materiais adquiridos, entre agosto e setembro de 2010.

efetuaram-se os cálculos como se estes componentes tivessem sido fabricados num canteiro de obras, com custos incidentes devido aos materiais adquiridos para a sua confecção e à mão-de-obra utilizada⁴⁹.

As tabelas a seguir apresentam a composição de custos diretos para estes componentes.

Tabela 5.5 – Composição de custo direto para o painel de vedação vertical de tubos de papelão.

Composição de Custo Direto - Painéis de Vedação Vertical 1,20 x 2,40 m - 1 unidade					
Item	Unidade	Quant.	Preço Unit. (R\$)	Preço Mater. (R\$)	Preço MDO (R\$)
Tubo de papelão 90 x 5 x 2400 mm	Unidade	12,0	7,43	89,16	
Barra roscada 5/16 x 3m	Unidade	0,8	8,70	6,96	
Arruela 5/16	Unidade	4,0	0,04	0,16	
Porca 5/16	Unidade	4,0	0,07	0,28	
Marceneiro	h	1,0	4,50		4,50
Ajudante	h	1,0	3,77		3,77
Subtotal				96,56	8,27
Total (1,20 x 2,40 = 2,88 m²)				104,83	
Total (1 m²)				36,40	

Tabela 5.6 – Composição de custo direto para a peça de ligação em argamassa armada.

Composição de Custo Direto - Peças de Ligação - 1 unidade					
Item	Unidade	Quant.	Preço Unit. (R\$)	Preço Mater. (R\$)	Preço MDO (R\$)
Cimento ARI	kg	6,0	0,36	2,16	
Areia média lavada	m³	0,012	86,94	1,04	
Tela de aço soldada 25 x 25 mm	m²	0,12	12,80	1,54	
Pedreiro	h	0,5	4,50		2,25
Ajudante	h	1,0	3,77		3,77
Subtotal				4,74	6,02
Total (1 peça)				10,76	

Após saber os custos equivalentes ao painel de vedação vertical de tubos de papelão proposto por este trabalho e às peças de ligação em argamassa armada, foi possível calcular o custo total de execução da vedação.

⁴⁹ Como os poucos equipamentos necessários foram simples e são comuns em qualquer canteiro de obras, como betoneira e equipamento vibrador, não se considerou custos com equipamentos.

No entanto, como foram usados dois tipos de resinas impermeabilizantes na célula-teste, calculou-se o custo de execução da vedação vertical para cada uma, conforme mostram as próximas tabelas.

Tabela 5.7 – Composição de custo direto para a execução de 1 m² da vedação vertical externa com aplicação da resina C.

Composição de Custo Direto - Execução da Vedação Vertical Externa com Resina C - 1 m ²					
Item	Unidade	Quant.	Preço Unit. (R\$)	Preço Mater. (R\$)	Preço MDO (R\$)
Peça de ligação	Unidade	0,67	10,76	7,21	
Massa de calafetação	kg	0,17	10,00	1,70	
Anel de borracha	Unidade	4,03	1,00	4,03	
Parabolt 5/16 x 4/4	Unidade	2,01	1,08	2,17	
Painel de vedação vertical	m ²	0,97	36,40	35,31	
Resina impermeabilizante C	l	0,31	18,61	5,77	
Pedreiro	h	0,75	4,50		3,38
Ajudante	h	0,75	3,77		2,83
Subtotal				56,19	6,21
Total (1 m²)				62,40	

Tabela 5.8 – Composição de custo direto para a execução de 1 m² da vedação vertical externa com aplicação da resina E.

Composição de Custo Direto - Execução da Vedação Vertical Externa com Resina E - 1 m ²					
Item	Unidade	Quant.	Preço Unit. (R\$)	Preço Mater. (R\$)	Preço MDO (R\$)
Peça de ligação	Unidade	0,67	10,76	7,21	
Massa de calafetação	kg	0,17	10,00	1,70	
Anel de borracha	Unidade	4,03	1,00	4,03	
Parabolt 5/16 x 4/4	Unidade	2,01	1,08	2,17	
Painel de vedação vertical	m ²	0,97	36,40	35,31	
Resina impermeabilizante E	l	0,24	9,03	2,17	
Pedreiro	h	0,75	4,50		3,38
Ajudante	h	0,75	3,77		2,83
Subtotal				52,59	6,21
Total (1 m²)				58,80	

Além dos cálculos acima, que representam as vedações verticais empregadas na célula-teste, foram calculados os custos de execução de vedações com algumas diferenças, que podem ser apropriadas em outras situações.

Primeiramente, calculou-se o custo de execução de uma vedação segundo o sistema construtivo proposto por este trabalho, porém, para uso em ambientes internos. Neste caso, seria possível excluir o uso de anéis de

borracha e massa de calafetação na base dos painéis, e a opção pela resina impermeabilizante E (sem filtro solar) seria adequada.

A tabela a seguir apresenta o custo de execução deste tipo de vedação.

Tabela 5.9 – Composição de custo direto para a execução de 1 m² da vedação vertical interna com aplicação da resina E.

Composição de Custo Direto - Execução da Vedação Vertical Interna com Resina E - 1 m ²					
Item	Unidade	Quant.	Preço Unit. (R\$)	Preço Mater. (R\$)	Preço MDO (R\$)
Peça de ligação	Unidade	0,67	10,76	7,21	
Parabolt 5/16 x 4/4	Unidade	2,01	1,08	2,17	
Painel de vedação vertical	m ²	0,97	36,40	35,31	
Resina impermeabilizante E	l	0,24	9,03	2,17	
Pedreiro	h	0,60	4,50		2,70
Ajudante	h	0,60	3,77		2,26
Subtotal				46,86	4,96
Total (1 m ²)				51,82	

Ao mesmo tempo, como muitas vezes a impermeabilização é considerada no serviço pintura, para possibilitar uma comparação com o custo de execução de vedações convencionais⁵⁰, calculou-se o custo de execução dessas vedações para ambientes externos e internos, sem considerá-la⁵¹ - tabelas 5.10 e 5.11.

Tabela 5.10 – Composição de custo direto para a execução de 1 m² da vedação vertical externa sem aplicação de resina impermeabilizante.

Composição de Custo Direto - Execução da Vedação Vertical Externa sem Resina - 1 m ²					
Item	Unidade	Quant.	Preço Unit. (R\$)	Preço Mater. (R\$)	Preço MDO (R\$)
Peça de ligação	Unidade	0,67	10,76	7,21	
Massa de calafetação	kg	0,17	10,00	1,70	
Anel de borracha	Unidade	4,03	1,00	4,03	
Parabolt 5/16 x 4/4	Unidade	2,01	1,08	2,17	
Painel de vedação vertical	m ²	0,97	36,40	35,31	
Pedreiro	h	0,30	4,50		1,35
Ajudante	h	0,30	3,77		1,13
Subtotal				50,42	2,48
Total (1 m ²)				52,90	

⁵⁰ No Anexo A encontram-se tabelas com os custos de execução de alguns tipos de vedações convencionais.

⁵¹ Ressalta-se, entretanto, a importância da aplicação de resina impermeabilizante nos painéis de vedação vertical propostos neste trabalho.

Tabela 5.11 – Composição de custo direto para a execução de 1 m² da vedação vertical interna sem aplicação de resina impermeabilizante.

Composição de Custo Direto - Execução da Vedação Vertical Interna sem Resina - 1 m ²					
Item	Unidade	Quant.	Preço Unit. (R\$)	Preço Mater. (R\$)	Preço MDO (R\$)
Peça de ligação	Unidade	0,67	10,76	7,21	
Parabolt 5/16 x 4/4	Unidade	2,01	1,08	2,17	
Painel de vedação vertical	m ²	0,97	36,40	35,31	
Pedreiro	h	0,15	4,50		0,68
Ajudante	h	0,15	3,77		0,57
Subtotal				44,69	1,25
Total (1 m²)				45,94	

Acredita-se que no caso dos painéis de vedação vertical de tubos de papelão e das peças de ligação em argamassa armada serem pré-fabricados em larga escala por uma indústria, os custos destes para o construtor seriam inferiores aos custos aqui calculados⁵². Isso ocorre porque os materiais utilizados por este trabalho para a confecção dos componentes construtivos foram adquiridos no varejo e, além disso, o processo de fabricação destes componentes foi todo manual. O mesmo raciocínio vale para a execução das vedações verticais utilizando estes componentes, que se forem executadas por empresas especializadas podem ser feitas em menos tempo e a um custo menor.

5.4. Considerações finais sobre o projeto desenvolvido

A proposta do painel de vedação vertical de tubos de papelão que foi apresentada neste capítulo teve como princípio as deficiências e adequações observadas nos painéis de vedação usados por Shigeru Ban em suas obras, as quais se referem principalmente aos seus aspectos técnicos. Porém, foram também consideradas adequações e deficiências relativas à sustentabilidade, racionalização, modulação e construtibilidade.

⁵² Interessante seria se, pelo menos, a indústria fabricante de tubos de papelão considerasse o seu emprego na construção civil como elementos de estrutura e vedação, tanto para a melhora das propriedades do material fabricado, como para a composição de seu preço.

Desse modo, buscou-se desenvolver um projeto introduzindo as mesmas adequações cometidas por Shigeru Ban, acrescidas de soluções para as deficiências, almejando-se obter um painel de vedação vertical de tubos de papelão com desempenho satisfatório para ser empregado no Brasil, com boas soluções para as questões técnicas.

Como resultado, conseguiu-se gerar um pé-direito compatível com o habitual em países ocidentais, facilitar o transporte e o armazenamento dos componentes íntegros, tornar prática a montagem e a desmontagem da construção por poucas pessoas, e ainda propiciar liberdade de configuração em planta a cada uso.

O uso de barras roscadas promoveu maior rigidez aos painéis, e as peças de ligação em argamassa armada fizeram o travamento entre painéis adjacentes de forma independente do travamento entre os elementos constituintes dos painéis de vedação. As saliências cilíndricas das peças de ligação encaixaram perfeitamente dentro dos tubos de papelão, aumentando a resistência do conjunto, e fazendo a ligação dos painéis de vedação à base e à cobertura.

Apesar das peças de ligação superiores terem ocasionado a abertura de vãos no meio dos painéis de vedação, este é um fato simples de se resolver, transpassando uma barra rosca mais próxima do limite superior dos painéis ou inserindo outros elementos (como chapas de madeira) sobre as peças de ligação superiores, em amarração com relação a estas e sobre o ponto de encontro de peças de ligação adjacentes, utilizando os próprios furos destas para prendê-los, unindo todas as peças na parte superior, sem depender do sistema da cobertura para isso.

Nota-se que a incorporação de princípios de sustentabilidade, racionalização, modulação e construtibilidade agregou qualidades aos painéis de vedação vertical de tubos de papelão propostos por este trabalho e favoreceu o seu desempenho técnico. No mais, foram alcançadas diversas melhorias para a construtibilidade, com relação às construções executadas por Shigeru Ban.

Quanto ao custo e ao tempo de execução de vedações verticais formadas com os painéis propostos por este trabalho, segundo os cálculos

apresentados no anexo B, pode-se dizer que estas vedações possibilitam economia considerável de recursos (em relação a todas as alvenarias convencionais e aos painéis de gesso e cimentício comparados) tanto no custo quanto no tempo de execução, mesmo se for considerada a execução do painel mais completo, ou seja, externo, com revestimento impermeabilizante, anéis de borracha e massa de calafetação (tabela 5.7).

A economia com os custos pode chegar a 33%, e a economia com o tempo de execução pode chegar a 82%, considerando a alvenaria de vedação externa com parede de 19 cm de espessura, usando bloco cerâmico furado 9 cm x 19 cm x 19 cm (vide anexo B).

Enfim, acredita-se que a proposta desenvolvida cumpriu com os seus objetivos de forma bastante satisfatória, gerando o projeto de um painel de vedação vertical de tubos de papelão e do sistema construtivo para utilizá-lo, oferecendo boas soluções às deficiências apontadas nas obras de Shigeru Ban.

A avaliação de desempenho técnico e estrutural dos painéis de vedação vertical de tubos de papelão propostos por este trabalho será apresentada no próximo capítulo e permitirá tecer outras considerações sobre estes.

6 . AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DO PAINEL DE VEDAÇÃO VERTICAL DE TUBOS DE PAPELÃO PROPOSTO

A avaliação de desempenho técnico e estrutural do painel de vedação vertical de tubos de papelão proposto no capítulo anterior foi feita por meio de duas linhas de trabalho. De um lado, foram realizados ensaios técnicos em laboratório para se aferir a resistência mecânica do painel aos principais esforços atuantes e ações sofridas por um painel de vedação vertical. De outro, verificou-se o seu comportamento na célula-teste frente a situações reais de exposição.

Os dados obtidos em ambas as avaliações foram levados em consideração para verificar o desempenho geral do painel, possibilitando concluir se este é apto ao seu emprego na construção civil no Brasil, e sugerir alguns usos e aplicações para o mesmo. Diretrizes da NBR 15575 – Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho - também foram

levadas em consideração para estas conclusões e sugestões gerais, na medida do possível⁵³.

6.1. Aspectos analisados para a avaliação de desempenho

Por ser a única norma brasileira a respeito da avaliação de desempenho de sistemas construtivos, além de bastante abrangente e completa nos quesitos que considera, a NBR 15575 – Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho – foi inicialmente utilizada para se fazer um apanhado acerca de todos os aspectos que poderiam ser avaliados quanto ao desempenho do painel proposto neste trabalho, e selecionar os mais pertinentes de acordo com a proposta e condições do mesmo.

Para a avaliação de desempenho completa de um sistema construtivo, esta norma sugere análises referentes à:

1. Segurança:
 - a. Segurança estrutural;
 - b. Segurança contra o fogo;
 - c. Segurança no uso e operação.
2. Habitabilidade:
 - a. Estanqueidade;
 - b. Desempenho térmico;
 - c. Desempenho acústico;
 - d. Desempenho lumínico;
 - e. Saúde, higiene e qualidade do ar;
 - f. Funcionalidade e acessibilidade;
 - g. Conforto tátil e antropodinâmico.

⁵³ O ideal seria que da mesma forma que foi elaborada uma norma técnica para a avaliação de desempenho de sistemas construtivos voltada para edificações habitacionais, que existissem normas semelhantes para outros usos.

3. Sustentabilidade:

- a. Durabilidade;
- b. Manutenibilidade;
- c. Impacto ambiental.

Contudo, devido às possibilidades deste trabalho, em termos de disponibilidade de tempo, materiais e equipamentos, apenas os seguintes aspectos foram analisados⁵⁴:

- a. Segurança estrutural;
- b. Estanqueidade;
- c. Durabilidade;
- d. Manutenibilidade.

Quanto à segurança estrutural, a referida norma estabelece requisitos referentes à:

- a.1. Estabilidade e resistência estrutural;
- a.2. Deformações e fissuração;
- a.3. Solicitações de cargas provenientes de peças suspensas;
- a.4. Impactos de corpo mole;
- a.5. Ações transmitidas por impactos nas portas;
- a.6. Impactos de corpo duro;
- a.7. Cargas de ocupação incidentes em guarda-corpos e parapeitos de janelas.

Conquanto, pelos mesmos motivos retromencionados, enfocou-se apenas os requisitos:

- a.1. Estabilidade e resistência estrutural;
- a.2. Deformações e fissuração;
- a.3. Impactos de corpo mole;

⁵⁴ Certamente a segurança contra o fogo seria um item de grande importância para a avaliação dos painéis de vedação vertical propostos por este trabalho. Entretanto, não foi encontrado nenhum forno que possibilitasse a realização deste ensaio e o teste de resinas e produtos antichamas, devido ao tamanho dos painéis e às exigências das normas técnicas de se realizar este ensaio no sistema construtivo completo em escala real (1:1).

a.4. Impactos de corpo duro.

Para isso, foram realizados os seguintes ensaios técnicos no painel de vedação vertical proposto, em laboratório:

1. Ensaio de resistência à compressão simples;
2. Ensaio de impacto de corpo mole;
3. Ensaio de impacto de corpo duro.

Além disso, foi realizado um ensaio de resistência à compressão simples em corpos de prova de tubos de papelão secos e sem revestimento, em corpos de prova revestidos com resinas impermeabilizantes e secos, e em corpos de prova revestidos e acondicionados em câmara úmida por sete dias.

Quanto à estanqueidade foram realizados ensaios de absorção de umidade em elementos com e sem proteção impermeabilizante em laboratório, e foi observado o comportamento de painéis tratados com resinas impermeabilizantes na célula-teste⁵⁵.

Contudo, devido à ausência de normas técnicas específicas para o material em estudo, ou para materiais alternativos em geral, foram utilizadas normas elaboradas para serem aplicadas aos materiais de construção comumente usados. Frisa-se que, muitas vezes, estas normas técnicas contêm exigências não cabíveis ao material em estudo, o que implica na impossibilidade de realização do ensaio ou na necessidade de adaptações⁵⁶.

Isso ficou evidente, neste trabalho, na realização dos ensaios técnicos citados acima e, sobretudo, na avaliação dos resultados obtidos nestes de acordo com os parâmetros na NBR 15575, para analisar o desempenho técnico e estrutural dos painéis propostos e definir os seus usos e aplicações.

⁵⁵ Ressalta-se que a avaliação com relação à estanqueidade não seguiu os procedimentos indicados na NBR 15575, devido à falta de condições de realizá-los e a considerar-se não necessário para os objetivos do trabalho.

⁵⁶ Vale apontar, portanto, a grave falha das normas técnicas em não incluírem os materiais de construção alternativos em suas determinações. Na conjuntura atual, onde o desenvolvimento de materiais alternativos é cada vez mais necessário, assim como os incentivos ao seu uso, e as pesquisas sobre estes são cada vez mais frequentes, é imprescindível que todas as normas técnicas considerem estes novos materiais. Afinal, os materiais alternativos possuem características técnicas e comportamento diferentes, e devem ser avaliados sob parâmetros também diferentes.

Considerações a respeito da durabilidade e manutenibilidade do painel de vedação vertical de tubos de papelão proposto também foram feitas a partir da célula-teste.

A realização dos ensaios técnicos será exposta no item 6.2 e a avaliação dos quesitos a partir da célula-teste no item 6.3.

6.2. A realização dos ensaios técnicos

Os tubos de papelão utilizados para compor os corpos de prova a serem ensaiados foram confeccionados com papel kraft do tipo W4⁵⁷ enrolado em espiral, conforme mostram as figuras 6.1 e 6.2.

Figuras 6.1 e 6.2 – Produção dos tubos de papelão. Fonte: Fotos da autora.

As faixas de papel kraft que formaram as camadas de revestimento externo e interno dos tubos foram banhadas em uma cola líquida à base de acetato de polivinila (PVA), e as camadas internas da parede dos tubos foram banhadas em outra cola líquida, à base de silicato de sódio⁵⁸ – figuras 6.3 e 6.4.

⁵⁷ O papel kraft W4 é o mais comumente usado na fabricação de tubos de papelão. Esta classificação é reconhecida internacionalmente e varia de W1 a W7, para os papéis de pior para melhor qualidade, respectivamente. A qualidade referida está associada a sua resistência à delaminação, determinada através do Ensaio de delaminação de papel pelo plano inclinado em graus. (LACERDA, 2006).

⁵⁸ A cola à base de silicato de sódio não é usada nos papéis de revestimento do tubo, pois cristaliza após a secagem e lhe daria um aspecto superficial áspero. Entretanto, é utilizada nos papéis de estrutura do tubo, ou seja, os papéis que formam as camadas internas da parede do mesmo, pois lhe propicia maior resistência à flexão e à compressão diametral. (LACERDA, 2006).

Figuras 6.3 e 6.4 – Faixas de papel kraft banhadas nas colas. Fonte: Fotos da autora.

Devido a pouca espessura da parede desses tubos, de 5 mm, a sua secagem ocorreu de forma natural. Segundo Zelepel (2010), os tubos fornecidos para este trabalho saíram da fábrica com índice de umidade incorporada de aproximadamente 8,7%.

Ao chegarem ao laboratório da universidade, estes tubos foram armazenados em local seco, arejado e sombreado, sobre uma chapa de madeira compensada – figura 6.5.

Figura 6.5 – Tubos de papelão utilizados nos ensaios técnicos. Fonte: Foto da autora.

Conforme foi apresentado no item 5.2, a partir desses tubos de papelão foram fabricados no laboratório da universidade os painéis de vedação vertical empregados na célula-teste e os painéis necessários para a realização dos ensaios técnicos.

6.2.1. Ensaios de absorção de umidade

Foram testados neste trabalho cinco tipos de resinas impermeabilizantes.

O primeiro teste foi feito com uma resina utilizada pela indústria fabricante de tubos de papelão para evitar a absorção de umidade pelos elementos e promover proteção superficial ao mesmo, evitando que ocorra delaminação ou destacamento de partes destes. Esta resina é um copolímero acrílico aditivado com capacidade impermeabilizante, e foi denominada neste trabalho como resina A. Embora o resultado deste ensaio tenha sido razoável, esta resina não é um produto que se encontre comumente nas lojas.

O segundo teste foi feito com uma resina desenvolvida pelo Grupo de Química Analítica e Tecnologia de Polímeros (GQATP), coordenado pelo Profº. Dr. Gilberto Chierice, no Instituto de Química de São Carlos, e foi denominada neste trabalho como resina B. Esta é uma resina poliuretana à base de óleo de mamona, bi-componente. O produto é comercializado, mas também não é encontrado com facilidade no comércio em geral. Além disso, o experimento com esta resina mostrou inviabilidade em utilizá-la neste trabalho, como será explicado adiante.

Por fim, um terceiro teste foi realizado com três resinas impermeabilizantes que podem ser adquiridas em qualquer estabelecimento comercial especializado em tintas no país⁵⁹. Ambas se constituem de resinas acrílicas à base de água e foram intituladas de resinas D e E, que são resinas comuns, e resina C, que possui duplo filtro solar.

Ensaio de absorção de umidade com a resina A

Este ensaio foi realizado conforme a NBR 14257 - Papel e cartão – Tubetes – Determinação da umidade – Método por secagem em estufa (ABNT, 1998).

Objetivo

O intuito deste ensaio foi identificar a absorção de umidade por tubos de papelão revestidos com a resina A, conforme exposto acima.

Corpos de prova

Foram ensaiados oito corpos de prova com 82 mm de diâmetro interno, 110 mm de altura e 08 mm de espessura.

⁵⁹ Salienta-se que houve a preocupação em testar e utilizar neste trabalho resinas impermeabilizantes de fácil consumo para a população em geral.

Materiais e equipamentos

Foram utilizados, além da resina A, pincel, bandeja, um pedaço de plástico, uma estufa com capacidade para atingir 105°C, um ventilador, uma balança, uma grelha metálica e dois sarrafos, e uma câmara úmida que mantivesse 90% de umidade internamente.

Procedimentos do ensaio

Conforme ZELEPEL (2008), estes tubos de papelão continham 7,0% de umidade após o processo de fabricação.

Os corpos de prova foram revestidos com a resina A na própria indústria fabricante dos mesmos. Com o auxílio de uma bandeja e um pincel, os tubos receberam uma demão da resina (face interna, face externa e topos) e foram colocados sobre um pedaço de plástico para eliminarem o excesso de material⁶⁰. Ressalta-se que um corpo de prova foi preservado sem o revestimento para possibilitar a comparação entre os resultados.

Em seguida, os corpos de prova revestidos foram levados para uma estufa onde permaneceram por 20 minutos a 105°C, para secarem. Ao serem retirados da estufa, os corpos de prova ficaram expostos a um ventilador por 10 minutos, para resfriarem.

No Laboratório de Construção Civil da EESC-USP, os corpos de prova aguardaram 18 dias em local seco, arejado e a temperatura ambiente até irem para a câmara úmida.

Suas massas e medidas (diâmetro externo, espessura e altura) foram aferidas, e estes foram acondicionados em câmara úmida por sete dias a 90% de umidade relativa do ar. Dentro da câmara úmida, os corpos de prova foram colocados sobre uma grelha metálica que, por sua vez, estava sobre dois apoios (sarrafos), para se evitar o acúmulo de água ao redor do topo inferior dos corpos de prova. A cada 24 horas as medidas foram tomadas novamente.

⁶⁰ O corpo de prova 7 foi o único revestido de forma diferente dos demais, sendo imerso num balde com a resina e depois colocado sobre o plástico para escorrer o excesso. Os corpos de prova receberam apenas uma demão da resina porque nesta fase do trabalho havia o interesse de que a indústria fabricante dos tubos de papelão os fornecesse já revestidos com esta e, segundo estes, a máquina que realiza este processo só o faz em uma demão. Contudo, quando os tubos de papelão foram entregues na universidade, percebeu-se que a película de revestimento formada nos tubos pela máquina era muito mais fina que a feita nos corpos de prova para o ensaio, e quase imperceptível. A solução, neste caso, seria adquirir a resina A para revestir os elementos, mas desistiu-se da idéia porque este produto não é encontrado com facilidade no comércio em geral.

Calculou-se a absorção de umidade de cada corpo de prova conforme a fórmula expressa na eq.1.

$$S = \frac{M_1 - M_2}{M_1} \times 100 \quad (\text{eq.1})$$

Sendo,

S o teor de absorção de umidade, expresso em porcentagem;

M_1 a massa antes do acondicionamento em câmara úmida;

M_2 a massa após o acondicionamento em câmara úmida.

Resultados

Os resultados do ensaio constam na tabela 6.1 e no gráfico 6.1:

Tabela 6.1 - Resultados do ensaio de absorção de umidade com a resina A.

CPs	Absorção de Umidade (%)						
	Dias						
	1	2	3	4	5	6	7
0	6,0	9,3	12,0	14,1	15,7	17,2	18,8
1	2,4	4,7	6,5	8,2	9,9	11,4	13,0
2	2,3	4,5	6,2	7,9	9,6	11,1	12,7
3	2,5	4,8	6,6	8,3	9,9	11,4	13,0
4	2,2	4,2	6,1	7,7	9,3	10,8	12,3
5	2,3	4,6	6,5	8,2	9,9	11,3	12,9
6	2,7	4,9	6,9	8,7	10,5	12,0	13,6
Média 1-6	2,4	4,6	6,5	8,2	9,9	11,3	12,9
7	1,9	3,6	5,1	6,5	7,9	9,2	10,5

Sendo,

0 corpo de prova sem revestimento;

1 a 7 corpos de prova revestidos com a resina A.

Gráfico 6.1 - Resultados do ensaio de absorção de umidade com a resina A.

Como é visível na tabela e gráfico acima, o corpo de prova 7 (revestido através de processo diferente dos demais) foi o único que apresentou índices de absorção bem diferentes. Por esse motivo, foi excluído do cálculo da média.

Entretanto, com relação a variação das dimensões dos corpos de prova, todos apresentaram variações semelhantes - tabela 6.2.

Tabela 6.2 - Variação das dimensões dos corpos de prova entre o primeiro e o último dia de ensaio.

CPs	0	1	2	3	4	5	6	7	Média 1-7
Φ_e (mm)	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,9	0,6	0,6	0,8
e (mm)	0,9	0,8	0,9	0,9	0,7	0,9	0,9	0,8	0,9
h (mm)	1,2	1,0	0,8	0,7	0,8	0,9	0,8	0,8	0,8

Observação visual/táctil após o ensaio

Quanto ao aspecto dos corpos de prova, não foram detectadas manchas de umidade, amolecimento ou esfarelamento após o ensaio. Pode-se dizer que suas dimensões tiveram mínima variação, todas inferiores a 1,0 mm. As figuras de 6.6 a 6.9 mostram como os corpos de prova se encontravam no terceiro e no último dias do ensaio.

Figura 6.6 – Corpos de prova sem e com revestimento, respectivamente, no 3º dia do ensaio.
Fonte: Foto da autora.

Figura 6.7 – Corpos de prova sem e com revestimento, respectivamente, no 7º dia do ensaio.
Fonte: Foto da autora.

Figura 6.8 – Corpos de prova no 3º dia do ensaio. Fonte: Foto da autora.

Figura 6.9 – Corpos de prova no 7º dia do ensaio. Fonte: Foto da autora.

Conclusões

Enquanto o corpo de prova sem revestimento teve absorção de umidade de quase 19%, os corpos de prova revestidos com a resina A absorveram 13% de umidade, em média. Dessa forma, a resina A mostrou-se bastante eficiente na redução do índice de absorção de umidade nos tubos de papelão; sobretudo, por ter sido usada em apenas uma demão. Conquanto, por se tratar de uma resina de difícil consumo para a população em geral, decidiu-se testar outros produtos.

Ensaio de absorção de umidade com a resina B

Tentou-se utilizar uma resina poliuretana bi-componente elaborada pelo GQATP-IQSC a partir de óleo de mamona para impermeabilizar os tubos de papelão, na proporção 1:2 (pré-polímero:poliol). Contudo, ocorreram alguns problemas.

As amostras nas quais se tentou aplicar o produto não tiveram sua umidade interna retirada em estufa, pois se imaginou que este procedimento seria impossível de ser realizado em tubos de grandes dimensões, como os utilizados nas construções. Assim deparou-se com o primeiro problema, pois a resina à base de óleo de mamona reagiu à umidade interna dos elementos, que era de aproximadamente 8%, e gerou pequenas bolhas de ar por toda a superfície das amostras. O outro empecilho foi que a resina B começou a reagir apenas 10 minutos após o seu preparo, tornando-se muito espessa e impossibilitando o revestimento das peças – figuras de 6.10 a 6.12.

Figuras 6.10, 6.11 e 6.12 – Corpos de prova revestidos com a resina B.
Fonte: Fotos da autora.

Concluiu-se a inviabilidade de se utilizar esta resina e a necessidade de se testarem outros produtos, imaginando-se tratar os tubos de papelão da mesma forma que se faz com construções de madeira, ou seja, após a construção concluída e permitindo-se manutenções periódicas.

Ensaio de absorção de umidade com as resinas C, D e E

Este ensaio foi realizado conforme a NBR 14257 - Papel e cartão – Tubetes – Determinação da umidade – Método por secagem em estufa (ABNT, 1998).

Objetivo

O intuito deste ensaio foi identificar a absorção de umidade por tubos de papelão revestidos com três resinas impermeabilizantes à base de água, de marcas consagradas comercialmente e de fácil consumo para a população.

Corpos de prova

Foram ensaiados trinta e um corpos de prova com 150 mm de diâmetro interno, 110 mm de altura e 04 mm de espessura.

Materiais e equipamentos

Foram utilizados, além de pincel, bandeja, um pedaço de plástico, uma estufa com capacidade para atingir 105°C, uma balança, sarrafos, uma câmara úmida que mantivesse 90% de umidade internamente, e três resinas impermeabilizantes à base de água: uma com duplo filtro solar (C) e duas comuns (D e E).

Procedimentos do ensaio

Inicialmente, um corpo de prova foi pesado e colocado na estufa a 105°C. Após a sua massa estabilizar, calculou-se que os corpos de prova possuíam 8,3% de umidade antes de serem revestidos com as resinas.

Em seguida os trinta e um corpos de prova a serem ensaiados foram preparados, mantendo-se esta umidade inicialmente incorporada de 8,3%, objetivando-se fidelidade aos procedimentos de impermeabilização dos tubos de papelão numa obra.

Sendo assim, um corpo de prova foi mantido sem revestimento (CP 0) para possibilitar a avaliação do material no seu estado natural e a comparação com os corpos de prova revestidos, e os outros trinta corpos de prova foram revestidos com as resinas impermeabilizantes, sendo dez corpos de prova para cada tipo de resina.

Dentre estes dez corpos de prova para cada tipo de resina impermeabilizante, cinco foram revestidos com duas demãos e cinco foram revestidos com três demãos, a fim de evidenciar possíveis diferenças e comparar os resultados.

Além disso, seguindo-se as especificações dos fabricantes, a resina impermeabilizante D foi diluída em 30% e 10% de água, e a resina E em 50% e 30% de água, respectivamente, para a primeira e demais demãos. A resina impermeabilizante C foi diluída em água na proporção de 15% para todas as demãos. Também seguindo-se as especificações dos fabricantes, o tempo

de espera entre as demãos foi de 4 horas para as resinas impermeabilizantes C e D, e de 1 hora para a resina impermeabilizante E.

A figura 6.13 mostra que os corpos de prova foram revestidos com o auxílio de um pincel, passando-se a resina impermeabilizante em toda a sua superfície externa, interna e bordas, a cada demão.

Figura 6.13 – Corpo de prova sendo revestido. Fonte: Foto da autora.

Após a secagem total dos corpos de prova revestidos, suas massas e medidas (diâmetro externo, diâmetro interno, espessura e altura) foram aferidas, e estes foram acondicionados em câmara úmida por sete dias a 90% de umidade relativa do ar – figura 6.14. Dentro da câmara úmida, os corpos de prova foram colocados sobre sarrafos estreitos, para se evitar o acúmulo de água ao redor das suas bases. A cada 24 horas as medidas foram novamente aferidas.

Figura 6.14 – Corpos de prova acondicionados na câmara úmida. Fonte: Foto da autora.

Resultados

Os resultados do ensaio são apresentados nas tabelas 6.3 a 6.6 e nos gráficos 6.2 a 6.8:

Tabela 6.3 - Resultados do ensaio de absorção de umidade sem revestimento.

Absorção de Umidade (%) CP sem revestimento		
CP		0
Dias	1	13,0
	2	20,0
	3	20,7
	4	21,4
	5	22,2
	6	23,2
	7	24,7

Gráfico 6.2 - Resultados do ensaio de absorção de umidade para o corpo de prova sem revestimento.

Tabela 6.4 - Resultados do ensaio de absorção de umidade com a resina C.

Absorção de Umidade (%) - Resina C											
CPs		2 demãos					3 demãos				
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Dias	1	4,0	3,6	3,7	3,7	3,5	3,2	3,1	3,4	3,5	3,3
	2	6,5	6,2	9,5	6,4	6,1	5,3	5,4	5,9	5,9	5,7
	3	7,9	7,4	10,4	7,5	7,5	6,6	6,6	7,2	7,3	7,3
	4	9,2	8,7	11,3	8,6	8,6	7,8	7,6	8,4	8,5	8,6
	5	10,7	9,9	12,7	9,9	10,1	9,3	8,9	9,8	9,9	10,0
	6	11,7	11,0	13,8	11,1	11,0	10,2	9,9	10,9	11,0	11,0
	7	13,1	12,2	15,0	12,1	12,0	11,4	11,2	12,3	12,4	12,5
média		12,4					12,0

Gráfico 6.3 - Resultados do ensaio de absorção de umidade com a resina C – 2 demãos.

Gráfico 6.4 - Resultados do ensaio de absorção de umidade com a resina C – 3 demãos.

Tabela 6.5 - Resultados do ensaio de absorção de umidade com a resina D.

Absorção de Umidade (%) - Resina D											
CPs		2 demãos					3 demãos				
		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Dias	1	7,8	7,9	10,8	7,8	7,9	6,8	7,0	7,0	6,4	7,0
	2	11,1	11,1	13,5	12,1	11,6	11,3	11,6	11,8	11,0	12,2
	3	12,8	13,7	15,3	14,0	13,2	13,6	13,8	13,9	13,1	14,4
	4	14,0	15,0	16,4	15,4	15,2	15,6	15,5	15,6	14,5	15,7
	5	15,8	16,2	18,1	16,8	16,9	17,3	16,9	17,7	16,4	17,2
	6	17,1	17,4	18,9	17,7	18,4	18,6	18,4	18,8	17,6	18,3
	7	19,2	19,1	20,3	18,9	19,9	20,2	20,4	20,6	19,2	20,3
média		19,5					20,1

Gráfico 6.5 - Resultados do ensaio de absorção de umidade com a resina D – 2 demãos.

Gráfico 6.6 - Resultados do ensaio de absorção de umidade com a resina D – 3 demãos.

Tabela 6.6 - Resultados do ensaio de absorção de umidade com a resina E.

Absorção de Umidade (%) - Resina E											
CPs		2 demãos					3 demãos				
		21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Dias	1	6,8	7,3	7,0	7,2	7,6	6,5	6,5	6,3	6,3	6,6
	2	12,3	12,7	12,2	12,2	12,4	11,4	11,1	11,2	11,8	11,5
	3	12,7	13,1	13,3	12,9	13,4	12,6	12,3	12,3	13,4	13,2
	4	13,2	13,8	14,1	13,3	13,9	13,1	13,2	13,4	14,1	13,7
	5	14,4	14,7	14,9	14,4	15,2	14,1	14,8	14,8	14,9	14,8
	6	15,0	15,7	15,3	15,0	15,7	15,1	15,3	15,5	15,4	15,5
	7	15,9	16,8	16,1	16,3	16,4	16,5	16,6	17,4	16,7	17,1
média		16,3					16,7

Gráfico 6.7 - Resultados do ensaio de absorção de umidade com a resina E – 2 demãos.

Gráfico 6.8 - Resultados do ensaio de absorção de umidade com a resina E – 3 demãos.

Observação visual/táctil após o ensaio

Quanto ao aspecto dos corpos de prova revestidos, não foram detectados amolecimento ou esfarelamento após o ensaio. Pouquíssimas manchas de umidade foram percebidas em pontos que, provavelmente, absorveram água da superfície dos sarrafos. Pode-se dizer que suas dimensões tiveram mínima variação, todas inferiores a 1,0 mm.

As figuras 6.15 a 6.26 mostram como os corpos de prova revestidos se encontravam antes e após o ensaio.

Figuras 6.15 e 6.16 – Corpos de prova revestidos com 2 demãos da resina C antes e após o ensaio, respectivamente. Fonte: Fotos da autora.

Figuras 6.17 e 6.18 – Corpos de prova revestidos com 3 demãos da resina C antes e após o ensaio, respectivamente. Fonte: Fotos da autora.

Figuras 6.19 e 6.20 – Corpos de prova revestidos com 2 demãos da resina D antes e após o ensaio, respectivamente. Fonte: Fotos da autora.

Figuras 6.21 e 6.22 – Corpos de prova revestidos com 3 demãos da resina D antes e após o ensaio, respectivamente. Fonte: Fotos da autora.

Figuras 6.23 e 6.24 – Corpos de prova revestidos com 2 demãos da resina E antes e após o ensaio, respectivamente. Fonte: Fotos da autora.

Figuras 6.25 e 6.26 – Corpos de prova revestidos com 3 demãos da resina E antes e após o ensaio, respectivamente. Fonte: Fotos da autora.

O corpo de prova sem revestimento apresentou maior variação nas dimensões, algumas manchas de umidade e proliferação de fungos, como mostram as figuras abaixo.

Figuras 6.27 e 6.28 – Corpo de prova sem revestimento após o ensaio. Fonte: Fotos da autora.

Conclusões

Como se pode notar pelos gráficos acima, não houve diferenças significativas entre os corpos de prova revestidos com duas ou três demãos para todas as resinas. Isso demonstra ser desnecessário, e até desperdício de material, a aplicação de três demãos.

Os corpos de prova revestidos com a resina C apresentaram absorção de umidade em torno de 12%, os revestidos com a resina D de 20%, e os revestidos com a resina E em torno de 16%.

Tendo o corpo de prova sem revestimento apresentado absorção de umidade de 25%, concluiu-se que a resina D foi pouquíssimo eficiente. Decidiu-se, portanto, excluir o seu uso do trabalho, tanto em outros ensaios técnicos, como na célula-teste.

A resina C teve índice de absorção de umidade semelhante à resina A (13%), testada anteriormente em outro ensaio e considerada com eficiência satisfatória.

Com relação ao índice de absorção de umidade da resina E, de 16%, considerou-se um pouco elevado; porém, como foi o segundo melhor dentre todos os produtos testados neste trabalho, decidiu-se testar esta resina e a resina C também na célula-teste, em apenas duas demãos, e utilizar apenas estas resinas em outros ensaios neste trabalho.

Teste de absorção de água pelos topos

Sabendo-se que os topos dos tubos de papelão são os locais mais frágeis em termos de absorção de umidade, por exporem as lâminas de papel kraft, fez-se necessário buscar uma maneira de impermeabilizá-los (ou torná-los estanques) nessa área.

Desse modo, testaram-se no laboratório algumas alternativas. Os testes foram realizados de forma bem simples e sem o auxílio de normas técnicas, com o intuito de se fazer uma pré-seleção entre as opções existentes, para a construção da célula-teste.

Três corpos de prova foram testados com relação à absorção de água pelos topos. O primeiro foi capeado com a mesma resina B testada anteriormente, o segundo teve seu topo apenas pintado em duas demãos

com esta resina, e o terceiro não recebeu nenhum tipo de proteção no topo⁶¹.

As figuras 6.29 a 6.40 mostram que os corpos de prova foram encaixados numa peça de ligação de argamassa armada, sobre a qual se despejou água cuidadosamente até formar uma lâmina espessa. Aguardou-se a secagem total da água e verificou-se como estavam as bases dos corpos de prova.

Figuras 6.29 a 6.32 – Corpo de prova capeado com a resina B. Fonte: Fotos da autora.

Figuras 6.33 a 6.36 – Corpo de prova pintado no topo com a resina B. Fonte: Fotos da autora.

Figuras 6.37 a 6.40 – Corpo de prova sem tratamento no topo. Fonte: Fotos da autora.

Pelas figuras acima percebe-se que ambos os corpos de prova com os topos tratados não absorveram a água.

Decidiu-se, portanto, testar essas duas formas de tratar os topos dos tubos de papelão nos painéis de vedação vertical da célula-teste; tendo metade dos painéis os topos dos tubos capeados e a outra metade os topos dos tubos pintados em duas demãos com a resina B.

⁶¹ Nos dois primeiros casos, a resina B foi utilizada na proporção 1:2 (pré-polímero:poliol); entretanto, para o primeiro caso aguardou-se a mistura reagir alguns minutos e ficar mais espessa, possibilitando a sua aplicação com uma bisnaga.

Também criou-se uma maneira de elevar os topos dos tubos com relação à base de argamassa armada, utilizando anéis de borracha, como mostra a figura 6.41.

Figura 6.41 – Anel de borracha usado para elevar os tubos de papelão da base.
Fonte: Foto da autora.

Além de usar a resina B nos topos dos tubos de papelão e elevá-los usando os anéis de borracha, decidiu-se usar massa de calafetação envolvendo este sistema para impedir a infiltração de água para o ambiente interno sob os painéis de vedação vertical – figura 6.42.

Figura 6.42 – Anel de borracha e massa de calafetação. Fonte: Foto da autora.

Durante a exposição da célula-teste, este sistema teve seu desempenho avaliado; o que será comentado mais adiante.

6.2.2. Ensaio de resistência à compressão simples em corpos de prova de tubos de papelão

Objetivo

O objetivo deste experimento foi determinar a perda de resistência à compressão em tubos de papelão revestidos com resina impermeabilizante em ambientes com alto índice de umidade relativa do ar. Objetivou-se

comparar a resistência à compressão de tubos de papelão revestidos com as resinas C e E secos, com a resistência à compressão de tubos de papelão revestidos com estas mesmas resinas após ficarem acondicionados em câmara úmida por sete dias. Corpos de prova secos e sem revestimento também foram testados para possibilitar mais comparações.

Corpos de prova

Foram ensaiados quinze corpos de prova, com 100 mm de diâmetro externo, 200 mm de comprimento e 05 mm de espessura⁶², sendo:

- 3 corpos de prova revestidos com a resina C e secos;
- 3 corpos de prova revestidos com a resina C e umidificados;
- 3 corpos de prova revestidos com a resina E e secos;
- 3 corpos de prova revestidos com a resina E e umidificados;
- 3 corpos de prova sem revestimento e secos.

Os corpos de prova continham inicialmente um teor de umidade em torno de 8,5%.

Materiais e equipamentos

Foram utilizados pincel, bandeja, um pedaço de plástico, uma estufa com capacidade para atingir 105°C, uma balança, sarrafos, uma câmara úmida que mantivesse 90% de umidade internamente, e duas resinas impermeabilizantes à base de água: uma com duplo filtro solar (C) e uma comum (E), além da resina B utilizada para capear os corpos de prova.

Também foi utilizada uma prensa dotada de uma célula de carga com capacidade para 30 toneladas, ligada a um sistema de aquisição de dados, e paquímetros digital e analógico.

Procedimentos do ensaio

Primeiramente, um corpo de prova foi pesado e colocado na estufa a 105°C. Após a sua massa estabilizar, constatou-se que os corpos de prova possuíam 8,5% de umidade antes do ensaio.

⁶² A altura dos corpos de prova foi definida conforme a NBR 5739 - Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos – Método de ensaio (ABNT, 1994), que determina que a altura do corpo de prova deve ser equivalente ao dobro do seu diâmetro externo.

Em seguida, foram preparados os doze corpos de prova que deveriam ser revestidos com as resinas impermeabilizantes. Mantendo-se a umidade inicialmente incorporada de 8,5%, seis corpos de prova foram revestidos com a resina C diluída em água na proporção de 15% em duas demãos, e seis corpos de prova foram revestidos com a resina E diluída em 50% e 30% de água, respectivamente, para a primeira e segunda demãos. Seguindo-se as especificações dos fabricantes, o tempo de espera entre as demãos foi de 4 horas para a resina impermeabilizante C, e de 1 hora para a resina impermeabilizante E.

Após a secagem completa das resinas impermeabilizantes, todos os corpos de prova tiveram seus topos capeados com a resina B na proporção 1:2 (pré-polímero:poliol), objetivando-se evitar que estes absorvessem água por essas áreas.

Depois de devidamente preparados, três corpos de prova revestidos com a resina C e três corpos de prova revestidos com a resina E tiveram suas massas e medidas tomadas e foram levados para a câmara úmida a 90% de umidade relativa do ar, onde permaneceram por sete dias. Os outros nove corpos de prova aguardaram o momento do ensaio de resistência à compressão.

Dentro da câmara úmida, os corpos de prova foram colocados sobre sarrafos estreitos, para se evitar o acúmulo de água ao redor das suas bases. A cada 24 horas suas medidas e massas foram novamente aferidas, para se calcular o índice de absorção de umidade após o período de acondicionamento na câmara úmida.

Após os sete dias pode-se dizer que os corpos de prova revestidos com a resina C apresentaram em média um índice de absorção umidade de 10,2%, e os corpos de prova revestidos com a resina E apresentaram índice de absorção de umidade em torno de 17,8%.

Prosseguiu-se, então, o ensaio de resistência à compressão em todos os corpos de prova. Para este ensaio, como não existe uma norma técnica específica para tubos de papelão ou elementos estruturais tubulares, os procedimentos foram definidos conforme a NBR 5739 - Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos – Método de ensaio (ABNT, 1994).

A velocidade de carregamento utilizada foi constante de 1,0 mm/min, para todos os corpos de prova, considerando-se que com esta velocidade a carga seria aplicada de forma bem lenta, não comprometendo o ensaio. Dessa forma, aplicou-se carga até se atingir o limite de escoamento (figuras 6.43 e 6.44). Através do sistema de aquisição de dados, pode-se obter a carga máxima para o escoamento para cada corpo de prova.

Figuras 6.43 e 6.44 – Corpos de prova durante o ensaio de resistência à compressão.
Fonte: Fotos da autora.

Resultados

Os resultados do ensaio podem ser conferidos nas tabelas 6.7 a 6.11 e nos gráficos 6.9 a 6.13:

Tabela 6.7 – Resultados do ensaio de resistência à compressão em CPs secos e sem resina.

Resistência à compressão em CPs secos - sem resina					
CPs	Φ_e (mm)	Φ_i (mm)	S_L (cm ²)	$P_{m\acute{a}x}$ (Kgf)	$f_{cm\acute{a}x}$ (MPa)
7	100,5	90,4	15,1	753,1	5,0
8	100,5	90,3	15,3	772,5	5,1
9	100,3	90,5	14,7	737,8	5,0
média	100,4	90,4	15,0	754,5	5,0

Tabela 6.8 – Resultados do ensaio de resistência à compressão em CPs secos, com resina C.

Resistência à compressão em CPs secos - resina C					
CPs	Φ_e (mm)	Φ_i (mm)	S_L (cm ²)	$P_{m\acute{a}x}$ (Kgf)	$f_{cm\acute{a}x}$ (MPa)
1	100,5	90,4	15,1	599,0	3,9
2	100,4	90,3	15,0	663,4	4,3
3	100,5	90,5	15,0	634,7	4,2
média	100,5	90,4	15,0	632,4	4,1

Tabela 6.9 – Resultados do ensaio de resistência à compressão em CPs úmidos com resina C.

Resistência à compressão em CPs úmidos - resina C					
CPs	Φ_e (mm)	Φ_i (mm)	S_L (cm ²)	$P_{m\acute{a}x}$ (Kgf)	$f_{cm\acute{a}x}$ (MPa)
4	100,3	90,5	14,7	159,2	1,1
5	100,5	90,3	15,3	174,5	1,1
6	100,4	90,5	14,8	132,7	0,9
média	100,4	90,4	14,9	155,5	1,0

Tabela 6.10 – Resultados do ensaio de resistência à compressão em CPs secos, com resina E.

Resistência à compressão em CPs secos - resina E					
CPs	Φ_e (mm)	Φ_i (mm)	S_L (cm ²)	$P_{m\acute{a}x}$ (Kgf)	$f_{cm\acute{a}x}$ (MPa)
16	100,5	90,3	15,3	666,3	4,4
17	100,4	90,3	15,0	508,2	3,4
18	100,5	90,4	15,1	533,7	3,5
média	100,5	90,3	15,1	569,4	3,8

Tabela 6.11 – Resultados do ensaio de resistência à compressão em CPs úmidos e resina E.

Resistência à compressão em CPs úmidos - resina E					
CPs	Φ_e (mm)	Φ_i (mm)	S_L (cm ²)	$P_{m\acute{a}x}$ (Kgf)	$f_{cm\acute{a}x}$ (MPa)
10	100,4	90,5	14,8	104,1	0,7
11	100,3	90,5	14,7	92,9	0,6
12	100,5	90,3	15,3	111,2	0,7
média	100,4	90,4	14,9	102,7	0,7

Sendo,

Φ_e o diâmetro externo;

Φ_i o diâmetro interno;

S_L a área líquida da seção;

$P_{m\acute{a}x}$ a carga máxima resistida;

$f_{cm\acute{a}x}$ o módulo de resistência à compressão (tensão de escoamento).

Gráfico 6.9 – Ensaio de resistência à compressão em CPs secos e sem resina.
Fonte: Gráfico gerado pelo programa de aquisição de dados.

Gráfico 6.10 – Ensaio de resistência à compressão em CPs secos e com resina C.
Fonte: Gráfico gerado pelo programa de aquisição de dados.

Gráfico 6.11 – Ensaio de resistência à compressão em CPs úmidos e com resina C.
Fonte: Gráfico gerado pelo programa de aquisição de dados.

Gráfico 6.12 – Ensaio de resistência à compressão em CPs secos e com resina E.
Fonte: Gráfico gerado pelo programa de aquisição de dados.

Gráfico 6.13 – Ensaio de resistência à compressão em CPs úmidos e com resina E.
Fonte: Gráfico gerado pelo programa de aquisição de dados.

Observação visual/táctil após o ensaio

Pode-se perceber que os corpos de prova sofreram esmagamento da borda superior, junto à aplicação de carga. Também apresentaram ondulações paralelas às emendas de papel kraft, tanto na face externa quanto na face interna (figuras 6.45 e 6.46).

Figuras 6.45 e 6.46 – Corpos de prova antes e após o ensaio de resistência à compressão.
Fonte: Fotos da autora.

Conclusões

Neste ensaio os corpos de prova secos e revestidos tiveram menor resistência à compressão que os corpos de prova secos e sem revestimento, em cerca de 20% e 25%, respectivamente, para as resinas C e E.

Percebeu-se durante o ensaio que toda vez que a força de compressão chegava a uma emenda entre as faixas de papel kraft, os corpos de prova secos perdiam resistência e, após amassar-se esta emenda formando uma ondulação e, conseqüentemente, aumentando a área da seção, os corpos de prova voltavam a ganhar resistência.

Isso pode ser verificado por meio dos gráficos acima, que mostram uma seqüência de perdas e ganhos de resistência por todos os corpos de prova secos. A diferença entre estes foi que ao longo desta seqüência de perdas e ganhos de resistência, uns apresentaram maior deformação que outros. Desse modo, dentre os corpos de prova secos, os revestidos com a resina E apresentaram menor deformação ao longo do ensaio, e os corpos de prova revestidos com a resina C apresentaram maior deformação.

Quanto aos corpos de prova umidificados, percebeu-se perda significativa de resistência à compressão. Todos os corpos de prova apresentaram baixa resistência e deformação contínuas.

Pelos gráficos pode-se perceber que para as forças de compressão as emendas entre as faixas de papel kraft não fizeram diferença nos corpos de prova umidificados, uma vez que devido ao alto teor de umidade incorporado nos elementos, todas as suas partes estavam pouquíssimo resistentes.

Constatou-se, com este ensaio, que os corpos de prova revestidos com a resina E perderam cerca de 80% de resistência à compressão após o acondicionamento na câmara úmida, e que os corpos de prova revestidos com a resina C perderam cerca de 75% de resistência.

Por outro lado, sabe-se que o material em estudo neste trabalho é bastante sensível à umidade, e que a permanência dos corpos de prova em um ambiente com 90% de umidade relativa do ar por sete dias consecutivos é uma situação extrema e inusitada.

6.2.3. Ensaio de resistência à compressão simples em painéis

Este ensaio foi realizado conforme as definições da NBR 8949 – Paredes de alvenaria estrutural – ensaio à compressão simples (ABNT, 1985).

Objetivo

O objetivo deste experimento foi simular as ações verticais centradas e identificar a resistência à compressão axial do painel de vedação vertical de tubos de papelão proposto por este trabalho, sem revestimento impermeabilizante⁶³; observando-se, também, o comportamento e deformações do painel a cada incremento de carga.

Ao mesmo tempo, neste ensaio, buscou-se saber o efeito gerado pelas resinas impermeabilizantes nos painéis de vedação vertical de tubos de papelão quando submetidos a cargas elevadas de compressão.

Corpos de prova

Foram ensaiados quatro corpos de prova compostos por painéis de vedação vertical de tubos de papelão do tipo A (cegos), conforme o projeto apresentado no capítulo 5. Dois corpos de prova não possuíam

⁶³ Todos os ensaios técnicos realizados com o painel de vedação vertical de tubos de papelão proposto neste trabalho utilizaram painéis sem revestimento impermeabilizante, considerando ser esta a forma mais adequada, uma vez que identifica a resistência do material propriamente dito e esta informação pode ser tomada como ponto de partida para projetos (adicionando-se um coeficiente de segurança), e por se saber que a resistência do painel poderá variar a cada construção, dependendo da resina impermeabilizante que se utilize.

nenhum tipo de revestimento impermeabilizante. Os outros dois corpos de prova foram revestidos com a resina E⁶⁴.

Materiais e equipamentos

Para este ensaio usou-se um pórtico de reação, dotado de dois macacos hidráulicos acionados por uma bomba eletro-hidráulica, duas células de carga com capacidade para 10 toneladas cada, uma viga metálica do tipo perfil I para distribuir as cargas uniformemente sobre os corpos de prova, defletômetros para medir os encurtamentos dos painéis e as possíveis flechas, e um aparelho Transdutec - Indicador Modelo TMDE para a leitura das cargas.

As figuras 6.47 e 6.48 mostram alguns dos equipamentos utilizados.

Figura 6.47 – Bomba eletro-hidráulica utilizada no ensaio de resistência à compressão em painéis. Fonte: Foto da autora.

Figura 6.48 – Equipamento Transdutec utilizado no ensaio de resistência à compressão em painéis. Fonte: Foto da autora.

⁶⁴ Como foi dito anteriormente, sabe-se que cada tipo de resina impermeabilizante causará uma variação sobre a resistência de um painel sem revestimento. Sendo assim, decidiu-se neste ensaio fazer o teste com apenas um tipo das resinas adotadas pelo mesmo, e optou-se pela resina E devido ao fato desta ter apresentado menor deformação no ensaio de resistência à compressão simples em amostras de tubos de papelão, com relação à resina C. Dessa maneira, objetivou-se reduzir a flambagem gerada nos painéis testados neste ensaio, o que se comprovou durante a sua realização.

Procedimentos do ensaio

Utilizando os instrumentos e equipamentos citados acima, o ensaio foi montado conforme mostra o esquema da figura 6.49, com os dois macacos hidráulicos eqüi-espaçados sob a viga de reação.

Figura 6.49 – Esquema de montagem do ensaio de resistência à compressão simples em painéis. Fonte: Desenho da autora.

Os painéis foram posicionados no equipamento, acoplados a duas peças de ligação, tanto na base como na parte superior, para a realização do ensaio. Duas placas de neoprene foram colocadas entre a peça de ligação inferior e a viga de reação inferior, e entre a peça de ligação superior e a viga de distribuição das cargas, para acomodar as irregularidades dessas peças – figura 6.50.

Figura 6.50 – Painel de vedação no ensaio de resistência à compressão simples.
Fonte: Foto da autora.

No centro de cada face dos painéis foi posicionado um defletômetro para aferir os deslocamentos horizontais, conforme mostram as figuras 6.51 e 6.52.

Figuras 6.51 e 6.52 – Defletômetros para leitura dos deslocamentos horizontais no ensaio de resistência à compressão em painéis. Fonte: Fotos da autora.

De maneira análoga, nas extremidades laterais dos painéis foram colocados dois defletômetros para marcar os encurtamentos destes ao longo do ensaio – figuras 6.53 e 6.54.

Figuras 6.53 e 6.54 – Defletômetros para leitura dos encurtamentos no ensaio de resistência à compressão em painéis. Fonte: Fotos da autora.

A velocidade de carregamento foi bem lenta; porém, foi controlada pelo técnico que operava os equipamentos. As cargas foram aplicadas em incrementos de 500 kgf, ou 10% da carga de flambagem provável⁶⁵. Cada nível de carregamento permaneceu sobre o painel por 5 minutos. As leituras dos relógios ocorreram cinco minutos após cada incremento de carga, antes de elevá-la novamente. Duas descargas foram efetuadas antes de se atingir 50% da carga de flambagem provável; sendo a primeira descarga realizada a 20% e a segunda descarga realizada a 40% da carga de flambagem provável, mantendo-se o descarregamento por cinco minutos e, posteriormente a isso, continuando-se o ensaio a partir da última carga atingida antes do descarregamento. As cargas foram aplicadas até os corpos de prova perderem a estabilidade.

Resultados

Os resultados são apresentados nas tabelas e gráficos a seguir.

Tabela 6.12 – Resultados do ensaio de resistência à compressão em painéis sem resina.

Resistência à compressão simples em painéis - sem resina												
Forças aplicadas (kgf)			CP 1				CP 2				Média 1-2 Encurt. (mm)	Média 1-2 Flecha* (mm)
			Encurtamento (mm)			Flecha (mm)	Encurtamento (mm)			Flecha (mm)		
1	2	total	1	2	média			1	2		média	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
250	250	500	1,70	0,71	1,21	0,20	1,47	2,30	1,89	0,10	1,55	0,20
500	500	1000	3,14	2,10	2,62	0,30	2,19	3,09	2,64	0,10	2,63	0,20
0	0	0	2,02	1,84	1,93	0,40	2,13	3,07	2,60	0,10	2,27	0,30
500	500	1000	2,65	1,93	2,29	0,30	3,17	3,97	3,57	-0,90	2,93	-0,30
750	750	1500	3,30	2,51	2,91	0,40	4,50	4,34	4,42	-1,00	3,67	-0,30
1000	1000	2000	4,15	3,23	3,69	0,70	4,10	5,00	4,60	-1,00	4,15	-0,20
0	0	0	2,39	2,18	2,29	0,10	3,10	4,36	3,73	-2,40	3,01	-1,20
1000	1000	2000	4,47	3,81	4,14	0,20	4,64	5,00	4,82	-1,20	4,48	-0,50
1250	1250	2500	5,30	4,55	4,93	0,70	5,42	6,15	5,79	-1,20	5,36	-0,30
1500	1500	3000	6,10	5,53	5,82	1,60	6,30	7,02	6,66	-1,00	6,24	0,30
1750	1750	3500	6,93	6,72	6,83	3,50	7,25	7,96	7,61	-0,70	7,22	1,40
2000	2000	4000	8,28	7,73	8,01	7,00	9,67	9,09	9,38	-0,10	8,70	3,50
2250	2250	4500	10,03	9,98	10,01	14,30	10,29	10,56	10,43	1,80	10,22	8,10
2500	2500	5000**	15,70	17,31	16,51	14,30	12,21	12,98	12,60	7,20	14,56	10,80

* Os valores com sinal negativo significam que a flecha gerada nestes pontos ocorreu para o lado oposto do corpo de prova, com relação aos valores com sinal positivo.

** Carga que ocasionou a perda de estabilidade.

⁶⁵ Na verdade, a NBR 8949 se refere a "carga de ruptura provável". Conquanto, como o tubo de papelão é um material bastante plástico, neste caso não ocorre ruptura, mas sim a flambagem do corpo de prova. Portanto, considerou-se a "carga de flambagem provável". Inicialmente, este ensaio foi realizado com um painel-teste para se conhecer a carga de flambagem provável; os resultados constam no Anexo B.

Gráfico 6.14 – Flecha gerada em ensaio de resistência à compressão em painéis sem resina.

Gráfico 6.15 – Encurtamento gerado em ensaio de resistência à compressão em painéis sem resina.

Tabela 6.13 – Resultados do ensaio de resistência à compressão em painéis com a resina E.

Resistência à compressão simples em painéis - com resina E												
Forças aplicadas (kgf)			CP 3				CP 4				Média 1-2 Encurt. (mm)	Média 1-2 Flecha* (mm)
			Encurtamento (mm)			Flecha (mm)	Encurtamento (mm)			Flecha (mm)		
1	2	total	1	2	média			1	2		média	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
250	250	500	0,92	0,15	0,54	1,39	0,42	0,01	0,22	0,10	0,38	0,75
500	500	1000	1,50	0,58	1,04	2,65	1,12	0,57	0,85	0,51	0,95	1,58
0	0	0	1,50	0,58	1,04	0	1,11	0,55	0,83	-0,02	0,95	-0,01
500	500	1000	1,50	0,75	1,13	2,72	1,27	0,65	0,96	0,57	1,05	1,65
750	750	1500	2,09	1,19	1,64	3,47	1,94	1,20	1,57	0,93	1,61	2,20
1000	1000	2000	2,90	1,84	2,37	3,96	2,51	1,90	2,21	1,28	2,29	2,62
0	0	0	2,20	1,69	1,95	0,60	1,61	1,31	1,46	0,33	1,71	0,47
1000	1000	2000	2,93	2,08	2,51	4,04	2,51	2,00	2,26	1,84	2,39	2,94
1250	1250	2500	3,67	2,80	3,24	4,55	3,60	3,00	3,30	2,20	3,27	3,38
1500	1500	3000	3,50	3,09	3,30	4,98	4,26	3,62	3,94	2,43	3,62	3,71
1750	1750	3500	5,67	4,69	5,18	5,76	5,00	4,66	4,83	2,77	5,01	4,27
2000	2000	4000	6,10	5,25	5,68	6,22	6,00	5,60	5,80	2,20	5,74	4,21
2250	2250	4500	7,05	6,16	6,61	6,81	6,91	6,81	6,86	3,43	6,74	5,12
2500	2500	5000	7,75	7,49	7,62	7,81	8,15	8,10	8,13	3,71	7,88	5,76
2750	2750	5500	8,67	8,65	8,66	10,35	9,39	9,41	9,40	4,00	9,03	7,18
3000	3000	6000**	9,50	10,32	9,91	10,50	10,51	11,01	10,76	5,08	10,34	7,79

* Os valores com sinal negativo significam que a flecha gerada nestes pontos ocorreu para o lado oposto do corpo-de-prova, com relação aos valores com sinal positivo.

** Carga que ocasionou a perda de estabilidade.

Gráfico 6.16 – Flecha gerada em ensaio de resistência à compressão simples em painéis com resina E.

Gráfico 6.17 – Encurtamento gerado em ensaio de resistência à compressão simples em painéis com resina E.

Pela observação dos gráficos e tabelas acima, percebe-se que os corpos de prova sem revestimento tiveram menor resistência à compressão que os corpos de prova revestidos com a resina E, sofreram maior encurtamento devido ao carregamento e, durante a aplicação das primeiras cargas, mantiveram-se com bastante equilíbrio até o carregamento de 3000 kgf, a partir do qual a flecha passou a se desenvolver de fato, atingindo uma curvatura maior do que a formada pelos corpos de prova revestidos com a resina E.

Ao mesmo tempo, os corpos de prova revestidos com a resina E tiveram resistência à compressão superior e menor encurtamento, com relação aos corpos de prova sem revestimento; porém, embora a curvatura da flecha formada por estes corpos de prova tenha sido de menor amplitude, esta desenvolveu-se de forma crescente desde as primeiras cargas aplicadas.

Observação visual/táctil após o ensaio

Após a realização do ensaio, os painéis apresentavam-se flambados e com deformação plástica, sendo a curvatura identificada sempre próxima à metade de sua altura, como se pode notar através das figuras 6.55 e 6.56.

Figuras 6.55 e 6.56 – Painel de vedação após o ensaio de resistência à compressão.
Fonte: Fotos da autora.

Em toda a região curvada em decorrência do ensaio de resistência à compressão, percebeu-se que as faixas de papel kraft se aproximaram, eliminando os vãos de 2 mm existentes entre estas que são próprios da fabricação dos elementos. Em vários pontos, nessa região, surgiram ondulações próximas às emendas de papel kraft e paralelas a estas. Também pode-se observar a ocorrência de esmagamento nas bases dos elementos – figuras 6.57.e 6.58.

Figuras 6.57 e 6.58 – Ondulações e amassamentos nos painéis após o ensaio de resistência à compressão. Fonte: Fotos da autora.

Embora os painéis tenham atingido a perda de estabilidade, não houve abertura de frestas entre os seus elementos. No caso dos painéis revestidos com a resina E também não ocorreu delaminação devido à película formada entre estes.

Conclusões

O ensaio de resistência à compressão em painéis mostrou que os painéis sem revestimento impermeabilizante suportaram 5000 kgf, e os painéis revestidos com a resina E suportaram 6000 kgf, ou seja, 20% a mais que os primeiros. Estas resistências podem ser consideradas baixas com relação a painéis executados com materiais convencionais, entretanto, são suficientes para uma construção.

Uma vantagem que se pode perceber destes painéis com relação a painéis de tijolos, blocos, ou concreto, por exemplo, é que estes atingiram a perda de estabilidade sem se desintegrarem ou entrarem em colapso, mas apenas ficando em estado de deformação plástica mesmo após o descarregamento.

Os encurtamentos e flechas formadas foram considerados normais para a situação.

6.2.4. Ensaio de impacto de corpo mole

Este ensaio foi realizado conforme definições da NBR 11675 – Divisórias leves internas moduladas – Verificação da resistência a impactos (ABNT, 1990), e da NBR 15575 – Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho (ABNT, 2008).

Objetivo

O objetivo deste experimento foi simular os choques acidentais gerados pela própria utilização do edifício ou os choques provocados por tentativas de intrusões intencionais ou não, identificando-se os deslocamentos, deformações ou rupturas provenientes de impactos de corpo mole sobre os painéis de vedação vertical de tubos de papelão proposto por este trabalho.

Corpos-de-prova

Foram testados dois corpos de prova sem revestimento impermeabilizante, compostos cada um por um painel do tipo A (cego), conforme o projeto apresentado no capítulo 5.

Materiais e equipamentos

Foi usada uma estrutura vertical rígida de apoio aos painéis testados, um pórtico de aço com altura superior à altura do painel, um saco de couro com altura aproximada de 90 cm, cheio de areia seca, pesando no total 40kg, um cabo de aço para sustentá-lo e um dispositivo fixado atrás dos corpos de prova para marcar os deslocamentos horizontais.

Procedimentos do ensaio

Os corpos de prova foram dispostos apoiados na estrutura vertical rígida, com o pórtico de aço sustentando o saco de areia, que tangenciou a superfície do corpo de prova exatamente ao centro quando em repouso – figura 6.59.

Figura 6.59 – Corpo de prova preparado para o ensaio de impacto de corpo mole.
Fonte: Foto da autora.

O saco de areia foi suspenso a alturas pré-estabelecidas para gerar os impactos das energias desejadas e foi solto, atingindo o corpo de prova sem repiques, conforme o esquema da figura 6.60.

Figura 6.60 – Esquema de execução do ensaio de impacto de corpo mole.
Fonte: ABNT, 1990, p.05.

Dessa forma, foi-se gerando um impacto para cada altura e energia mostradas na tabela 6.14, no centro do corpo de prova, até este apresentar-se significativamente danificado⁶⁶.

Tabela 6.14 – Dados para realização de ensaio de impacto de corpo mole. Fonte: ABNT, 2008 (2), p.20.

Impacto	m (kg)	h (m)	E (J)
Aplicar um impacto de corpo mole, de acordo com a ABNT NBR 11675, para cada energia	40	0,15	60
	40	0,30	120
	40	0,45	180
	40	0,60	240
	40	0,90	360
	40	1,20	480
	40	1,80	720
	40	2,40	960

Foram medidos os deslocamentos horizontais e os respectivos deslocamentos residuais após cinco minutos do impacto, em milímetros, com o auxílio de um dispositivo fixado na parte de trás dos corpos de prova, conforme mostra a figura 6.61.

Figura 6.61 – Dispositivo para marcar os deslocamentos horizontais. Fonte: Foto da autora.

⁶⁶ Devido à plasticidade e a tenacidade características dos painéis de vedação vertical de tubos de papelão, dificilmente estes atingem a ruptura. Desse modo, para este ensaio considerou-se que quando os corpos-de-prova ou partes destes estivessem significativamente danificados, o ensaio seria finalizado.

Resultados

Os resultados são expressos através da tabela 6.15.

Tabela 6.15 – Resultados do ensaio de impacto de corpo mole em painéis.

Impacto de corpo mole em painéis - sem resina									
m (kg)	h (m)	E (J)	CP 1		CP 2		Média 1-2		Ocorrências
			d_h (mm)	d_{hr} (mm)	d_h (mm)	d_{hr} (mm)	d_h (mm)	d_{hr} (mm)	
40	0,15	60	43	1,9	27	1,7	35,0	1,8	Não ocorrência de falhas
40	0,30	120	65	6,0	44	2,0	55,0	4,0	Não ocorrência de falhas
40	0,45	180	89	15,0	44	4,0	66,5	9,5	Não ocorrência de falhas
40	0,60	240	117	20,0	51	3,0	84,0	11,5	Falhas localizadas
40	0,90	360	180	26,0	67	10,0	123,5	18,0	Falhas localizadas
40	1,20	480	185	30,0	73	17,0	129,0	23,5	Danos significativos

Sendo,

d_h o deslocamento horizontal instantâneo;

d_{hr} o deslocamento horizontal residual.

Observação visual/táctil após o ensaio

Após o ensaio de impacto de corpo mole os corpos de prova não estavam desintegrados, rompidos, nem apresentavam frestas entre os seus elementos – figura 6.62.

Figura 6.62 – Corpo de prova após o ensaio de impacto de corpo mole.
Fonte: Foto da autora.

Os painéis testados apenas apresentaram alguns danos que só podiam ser vistos bem de perto, como a flecha residual mostrada na figura a seguir.

Figura 6.63 – Flecha residual após o ensaio de impacto de corpo mole.
Fonte: Foto da autora.

Dobras nos elementos formaram uma linha horizontal no centro da face anterior dos painéis, exatamente onde se gerou os impactos. Por trás dos painéis, ocorreu um rasgo nas camadas superficiais de papel kraft exatamente ao centro destes, onde estava fixado o dispositivo que marcou os deslocamentos horizontais – figuras 6.64 e 6.65.

Figuras 6.64 e 6.65 – Dobras e rasgo no painel após o ensaio de impacto de corpo mole.
Fonte: Fotos da autora.

Conclusões

Percebeu-se por meio do ensaio de impacto de corpo mole duas características dos painéis de vedação vertical de tubos de papelão: a sua grande elasticidade, ou seja, a capacidade de retornarem a situação inicial

mesmo após sofrerem impactos de grandes energias; e também a grande tenacidade do material, pois consomem grande energia de deformação antes de perderem a estabilidade.

Assim sendo, embora neste ensaio os deslocamentos horizontais tenham sido grandes, os impactos gerados não causaram ruptura nos painéis testados, nem comprometeram a sua integridade e estabilidade.

Considerou-se, portanto, que os painéis de vedação vertical de tubos de papelão propostos por este trabalho tiveram bom comportamento e boa resistência frente aos impactos de corpo mole gerados.

6.2.5. Ensaio de impacto de corpo duro

Este ensaio foi realizado conforme as definições da NBR 11675 – Divisórias leves internas moduladas – Verificação da resistência a impactos (ABNT, 1990), e da NBR 15575 – Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho (ABNT, 2008).

Objetivo

O objetivo deste experimento foi simular os choques de objetos acidentais ou não gerados pela própria utilização do edifício, verificando a indentação proveniente de impactos de corpo duro sobre os painéis de vedação vertical de tubos de papelão propostos por este trabalho.

Corpos de prova

Foram testados dois corpos de prova sem revestimento impermeabilizante, compostos cada um por um painel do tipo A (cego), conforme o projeto apresentado no capítulo 5.

Materiais e equipamentos

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

Procedimentos do ensaio

Os corpos de prova foram dispostos apoiados na estrutura vertical rígida, com o pórtico metálico sustentando a esfera de aço, que tangenciou a superfície do corpo de prova exatamente ao centro quando em repouso – figura 6.66.

Figura 6.66 – Corpo de prova preparado para o ensaio de impacto de corpo duro.

Fonte: Foto da autora.

A esfera de aço foi suspensa a uma altura pré-estabelecida para gerar o impacto da energia desejada e foi solta, atingindo o corpo de prova sem repiques, conforme a figura 6.67.

Figura 6.67 – Esquema de execução do ensaio de impacto de corpo duro.

Fonte: ABNT, 1990, p.04.

Foram gerados dez impactos no corpo de prova para cada altura e energia mostradas na tabela 6.16, referente ao corpo duro de massa equivalente a 0,5 kg⁶⁷.

Tabela 6.16 – Dados para realização de ensaio de impacto de corpo duro. Fonte: ABNT, 2008 (2), p.22.

Impacto	m (kg)	h (m)	E (J)
Aplicar 10 impactos de corpo duro de grandes dimensões (esfera de aço) para cada energia	1,0	1,00	10,00
	1,0	2,00	20,00
	1,0	3,00	30,00
Aplicar 10 impactos de corpo duro de pequenas dimensões (esfera de aço) para cada energia	0,5	0,50	2,50
	0,5	0,75	3,75
	0,5	1,00	5,00

Foram medidas as profundidades das mossas originadas após cada impacto de corpo duro, em milímetros, com o auxílio de um paquímetro digital de profundidade, observando-se possíveis falhas, fissuras, destacamentos e ruínas.

As figuras a seguir mostram a realização do ensaio.

Figuras 6.68 e 6.69 – Realização do ensaio de impacto de corpo duro. Fonte: Fotos da autora.

⁶⁷ De acordo com a NBR 15575, devem-se realizar para este ensaio dez impactos de corpo duro com uma esfera de aço maciça de 0,5 kg, e dez impactos com uma esfera de aço maciça de 1 kg, para cada altura determinada na tabela 6.16, a fim de se gerarem impactos com todas as energias listadas. Contudo, por falta da esfera de aço de 1 kg no laboratório da universidade, realizaram-se apenas os impactos referentes à esfera de 0,5 kg.

Resultados

Os resultados são expressos na tabela 6.17.

Tabela 6.17 – Resultados do ensaio de impacto de corpo duro em painéis.

Impacto de corpo duro em painéis - sem revestimento							
m (kg)	h (m)	E (J)	Impacto	Profundidade (mm)			Ocorrências
				CP 1	CP 2	média	
0,5	0,50	2,50	1	0	0	0	Não ocorrência de falhas
0,5	0,50	2,50	2	0,1	0,2	0,2	
0,5	0,50	2,50	3	0,2	0,2	0,2	
0,5	0,50	2,50	4	0,3	0,3	0,3	
0,5	0,50	2,50	5	0,3	0,4	0,4	
0,5	0,50	2,50	6	0,4	0,6	0,5	
0,5	0,50	2,50	7	0,4	0,7	0,6	
0,5	0,50	2,50	8	0,5	0,8	0,7	
0,5	0,50	2,50	9	0,6	0,8	0,7	
0,5	0,50	2,50	10	0,7	0,9	0,8	
0,5	0,75	3,75	1	0,3	0,1	0,2	Não ocorrência de falhas
0,5	0,75	3,75	2	0,5	0,1	0,3	
0,5	0,75	3,75	3	0,6	0,2	0,4	
0,5	0,75	3,75	4	0,7	0,2	0,5	
0,5	0,75	3,75	5	0,7	0,2	0,5	
0,5	0,75	3,75	6	0,9	0,3	0,6	
0,5	0,75	3,75	7	1,3	0,7	1,0	
0,5	0,75	3,75	8	1,6	1,1	1,4	
0,5	0,75	3,75	9	1,8	1,5	1,7	
0,5	0,75	3,75	10	1,8	2,1	2,0	
0,5	1,00	5,00	1	0,2	0	0,1	Não ocorrência de falhas
0,5	1,00	5,00	2	0,3	0	0,2	
0,5	1,00	5,00	3	0,5	0,1	0,3	
0,5	1,00	5,00	4	0,6	0,1	0,4	
0,5	1,00	5,00	5	0,9	0,4	0,7	
0,5	1,00	5,00	6	1,2	0,5	0,9	
0,5	1,00	5,00	7	1,5	0,7	1,1	
0,5	1,00	5,00	8	1,9	0,8	1,4	
0,5	1,00	5,00	9	2,0	1,0	1,5	
0,5	1,00	5,00	10	2,1	1,0	1,6	

Observação visual/táctil após o ensaio

Após o ensaio de impacto de corpo duro, os corpos de prova não haviam sido transpassados pela esfera de aço maciça utilizada no ensaio, não se encontravam desintegrados ou rompidos, nem apresentavam frestas

entre os seus elementos ou fissuras; mantendo-se em perfeitas condições – figuras 6.70 e 6.71.

Figuras 6.70 e 6.71 – Corpo-de-prova após o ensaio de impacto de corpo duro.
Fonte: Fotos da autora.

Os corpos de prova apresentaram apenas pequenas mossas nos locais onde foram gerados os impactos, que eram pouco perceptíveis. As figuras 6.72 a 6.75 mostram as mossas geradas pelos impactos de corpo duro nos corpos de prova.

Figuras 6.72 a 6.75 – Mossas ocasionadas nos painéis após o ensaio de impacto de corpo duro. Fonte: Fotos da autora.

Conclusões

Percebeu-se por meio do ensaio de impacto de corpo duro que os danos causados nos corpos de prova foram mínimos, não comprometendo a sua integridade e estabilidade. Assim sendo, considerou-se que os painéis de vedação vertical de tubos de papelão propostos por este trabalho tiveram bom comportamento e boa resistência frente aos impactos de corpo duro gerados.

6.3. Inspeção da célula-teste

A célula-teste foi projetada e construída conforme se apresentou no capítulo 5, para possibilitar a avaliação de desempenho técnico e estrutural do painel de vedação vertical de tubos de papelão proposto por este trabalho quando submetido a situações reais de exposição. Esta avaliação considerou exclusivamente os painéis de vedação vertical e, no máximo, as suas ligações com o radier, a cobertura, a janela e a porta; não sendo estes elementos foco de análise neste trabalho.

Até o presente momento, os painéis de vedação vertical de tubos de papelão empregados na célula-teste ficaram expostos a intempéries, sol, chuva, oscilação de temperaturas, ventos etc por um período de vinte semanas. Neste período, compreendido entre o começo do mês de novembro e o fim do mês de março, ocorreu o fim da primavera, a estação verão inteira, e o início do outono.

Este período apresentou temperaturas bastante elevadas em alguns dias, com muito sol, mas ao mesmo tempo a quantidade de chuvas foi significativamente acima do esperado para esta época do ano, o que fez as temperaturas ficarem abaixo do normal por diversas vezes. Grandes tempestades e rajadas de vento muito fortes também ocorreram em São Carlos (SP) neste período. Nestas ocasiões, diversos alagamentos se formaram pela cidade, prédios foram destelhados e muitas árvores foram derrubadas pelos ventos fortes.

As figuras a seguir ilustram esses acontecimentos.

Figuras 6.76 e 6.77 – Temporal e enchente em São Carlos (SP) em 13/03/2011.
Fonte: Fotos da autora.

Figura 6.78 – Prédio destelhado em São Carlos (SP) após temporal com rajadas de ventos em 21/02/2011. Fonte: Foto da autora.

Figura 6.79 – Antena de prédio destruída após temporal com rajadas de ventos em São Carlos (SP) em 21/02/2011. Fonte: Foto da autora.

Figuras 6.80 e 6.81 – Árvores arrancadas com raiz em São Carlos (SP) em 21/02/2011.
Fonte: Fotos da autora.

A tabela abaixo mostra alguns dados meteorológicos do período mencionado para a cidade de São Carlos (SP).

Tabela 6.18 – Dados meteorológicos de São Carlos (SP). Fonte: Laboratório de Construção Civil (EESC-USP), 2011.

Dados meteorológicos São Carlos (SP) - nov./2010-mar./2011											
Temperatura (°C)			Umidade Relativa (%)			Vel. Ventos (km/h)		Chuva (mm)		Radiação Solar (W/m²)	
mín.	máx.	méd.	mín.	máx.	méd.	máx.	méd.	máx.	méd.	máx.	méd.
13	34	27	18	97	61	98	12	85	7	1328	572

A célula-teste passou por inspeções semanais desde a sua inauguração, sendo ao todo realizadas vinte inspeções até o momento. Durante estas inspeções a célula-teste foi minuciosamente examinada interna e externamente através de observação visual e tátil, e com o auxílio de alguns instrumentos como régua de madeira, por exemplo, para aferir o alinhamento dos painéis.

Em todas as inspeções foram tiradas fotos de todos os painéis e seus respectivos detalhes, avariados ou não, para possibilitar a comparação entre as mesmas ao longo do tempo e acompanhar o surgimento e progresso de possíveis falhas.

Os seguintes aspectos dos painéis de vedação vertical de tubos de papelão foram analisados por meio da célula-teste⁶⁸:

- a. Estabilidade e resistência estrutural;
- b. Deformações e fissuração⁶⁹;
- c. Estanqueidade e permeabilidade;
- d. Durabilidade;
- e. Manutenibilidade.

Quanto à estabilidade e resistência estrutural, e ao surgimento de deformações e fissuração, observaram-se:

- surgimento de frestas e fissuras nos painéis;
- movimentações e deslocamentos dos elementos;
- deflexões da estrutura;
- abaulamento dos painéis;
- quaisquer falhas técnicas ou estruturais.

Quanto à estanqueidade e permeabilidade foram observadas as eficiências de dois tipos de resinas impermeabilizantes (C e E) aplicadas aos painéis de vedação vertical, e de dois tipos de proteção ao contato com água utilizados nas suas bases, feitos com a resina B, como já foi citado anteriormente.

A planta baixa de disposição dos painéis de vedação vertical, incluindo estas especificações, é mostrada a seguir:

⁶⁸ Objetivava-se, inicialmente, analisar também os desempenhos térmico e acústico dos painéis de vedação vertical empregados na célula-teste. Porém, devido ao fato da cobertura da construção não ser executada com material convencional, mas sim constituída de telhas de fibras vegetais recicladas, pesquisadores especializados na área de Conforto Ambiental explicaram que os dados obtidos em aferições de desempenho térmico e acústico não permitiriam saber quanto destes valores seriam em decorrência dos painéis de vedação exclusivamente, por não se conhecer previamente o desempenho da cobertura utilizada. Em consequência disso, decidiu-se não realizar estas avaliações.

⁶⁹ A estabilidade e resistência estrutural, assim como o surgimento de deformações e fissuração foram avaliados também por meio dos ensaios técnicos realizados, como mostrou-se em 6.2.

Figura 6.82 – Planta baixa de disposição dos painéis de vedação vertical da célula-teste.
Fonte: Desenho da autora.

A observação referente à estanqueidade e permeabilidade também foi feita em dias de chuva com diferentes intensidades e duração, durante e após o fenômeno, além das datas das inspeções semanais. Foram verificados:

- ocorrência de infiltrações que causassem borrifamentos, escorrimentos ou formação de gotas de água na face interna dos painéis;
- ocorrência de manchas de umidade internas e/ou externas.

Outros aspectos gerais foram observados durante as inspeções na célula-teste:

- delaminação ou destacamento de partes;
- degradação dos componentes;
- desenvolvimento de bolor;
- quaisquer danos causados pela agressividade do meio ambiente;
- local, tamanho, causa e gravidade das ocorrências;
- aumento/redução/cessação das ocorrências;

- implicações posteriores das ocorrências nos painéis.

Com base nas inspeções técnicas realizadas na célula-teste, pode-se formar uma noção a respeito de questões de durabilidade⁷⁰ e manutenibilidade, que serão expostas através de considerações ao fim dessa avaliação.

Quanto a todos os aspectos listados acima, a tabela abaixo apresenta o resultado das inspeções realizadas:

Tabela 6.19 – Resultados das inspeções na célula-teste após vinte semanas.

Inspeção na célula-teste (20 semanas)	
Aspectos	Ocorrência
Estabilidade e segurança estrutural	
Surgimento de frestas e fissuras	Não
Movimentações e deslocamentos dos elementos	Não
Deflexões da estrutura	Não
Abaulamento dos painéis	Não
Outras falhas técnicas ou estruturais	Não
Estanqueidade e permeabilidade	
Infiltrações com borrifamentos, escorrimentos ou formação de gotas de água internamente	Não
Manchas de umidade internas e/ou externas	Sim (externas)
Outros	
Delaminação ou destacamento de partes	Não
Degradação dos componentes	Não
Desenvolvimento de bolor	Não
Danos causados pela agressividade do meio ambiente	Não

Por conseguinte, com relação às manchas de umidade observadas nos painéis de vedação vertical da célula-teste, a tabela 6.20 apresenta mais detalhes.

⁷⁰ Sabe-se que, em termos de durabilidade, a NBR 15575 determina que as conclusões sejam tiradas após um período de pelo menos dois anos de avaliação de uma célula-teste; e que a manutenibilidade está associada à anterior.

Tabela 6.20 – Manchas de umidade na célula-teste após vinte semanas.

Manchas de umidade internas e/ou externas					
Painéis	Resina usada	Proteção na base	Local das manchas	Início das manchas	Situação atual
1 (L)	E	capeado	Base Ext.	3ª Semana	Muitas manchas
			Face Ext.	15ª Semana	Poucas manchas embaixo
2 (L)	C	pintado	Base Ext.	6ª Semana	Imperceptível
			Face Ext.	15ª Semana	Poucas manchas embaixo
3 (S)	C	capeado	Base Ext.	12ª Semana	Imperceptível
			Face Ext.		Sem manchas
4 (S)	E	pintado	Base Ext.	5ª Semana	Muitas manchas
			Face Ext.	7ª Semana	Pouquíssimas manchas embaixo
5 (O)	E	capeado	Base Ext.	7ª Semana	Muitas manchas
			Face Ext.	6ª Semana	Muitas manchas em todo painel
6 (O)	C	pintado	Base Ext.	7ª Semana	Imperceptível
			Face Ext.		Sem manchas
7 (N)	C	capeado	Base Ext.	12ª Semana	Imperceptível
			Face Ext.		Sem manchas
8 (N)	E	pintado	Base Ext.	7ª Semana	Muitas manchas
			Face Ext.	11ª Semana	Pouquíssimas manchas embaixo e no meio

Pela tabela 6.19, pode-se perceber que as únicas ocorrências nos painéis de vedação vertical da célula-teste até o presente momento foram o surgimento de manchas de umidade nas faces externas dos painéis e a absorção de umidade por suas bases.

Com relação às bases dos painéis, a tabela 6.20 mostra que entre os painéis que as tiveram capeadas com a resina B, os orientados para Leste e Oeste apresentaram absorção de umidade nestes locais mais cedo (entre as 3ª e 7ª semanas), e os orientados para Norte e Sul apresentaram absorção de umidade pela base apenas na 12ª semana. Isso deve ter ocorrido pela ação dos raios solares sobre a massa de calafetação nos painéis para Leste e Oeste.

Quanto aos painéis que tiveram as suas bases apenas pintadas com a resina B, não percebeu-se diferença, sendo que todos apresentaram absorção de umidade pelas bases entre as 5ª e 7ª semanas.

Porém, evidencia-se que o capeamento feito com a resina B melhorou o desempenho dos painéis orientados para Norte e Sul, reduzindo a absorção de umidade por suas bases.

No que diz respeito às faces dos painéis, a resina C (com duplo filtro solar) conferiu melhor desempenho do que a resina E (comum). Entre os painéis revestidos com a resina E, o primeiro a apresentar manchas de umidade foi o orientado para Oeste, seguido dos orientados para Sul, Norte e Leste, nesta ordem. Quanto aos painéis revestidos com a resina C, até o momento, apenas o painel orientado para Leste apresentou algumas manchas de umidade, a partir da 15ª semana. Acredita-se que a radiação solar e os ventos vindos do Oeste durante as tempestades, tenham interferência nestas ocorrências.

Inicialmente, todas as manchas de umidade percebidas tanto nas bases dos painéis quanto nas suas faces secavam com o sol e calor e desapareciam. Com o passar do tempo, estas manchas foram deixando marcas nos painéis; mas percebe-se que são superficiais, ou seja, aparentam apenas uma degradação da resina impermeabilizante e não uma degradação dos tubos de papelão.

Não foram detectados formação de bolor, descamação, bolhas de umidade, ou qualquer outro sinal de degradação do material. Internamente, não surgiram manchas de umidade nas faces dos painéis. Poucas vezes percebeu-se uma pequena absorção de umidade nas suas bases, internamente, que acabou secando.

De qualquer maneira, estas ocorrências foram consideradas sem gravidade, uma vez que não comprometeram os painéis de vedação vertical empregados na célula-teste, nem reduziram a sua estabilidade e segurança estrutural.

As figuras a seguir mostram de forma comparativa o estado inicial e o estado atual da célula-teste, em todas as suas fachadas, painéis de vedação vertical e seus respectivos detalhes; comprovando as informações relatadas nas tabelas acima.

Fachada Leste

Figuras 6.83 e 6.84 – Fachada Leste da célula-teste – estados inicial e atual.
Fonte: Fotos da autora.

Fachada Sul

Figuras 6.85 e 6.86 – Fachada Sul da célula-teste – estados inicial e atual.
Fonte: Fotos da autora.

Fachada Oeste

Figuras 6.87 e 6.88 – Fachada Oeste da célula-teste – estados inicial e atual.
Fonte: Fotos da autora.

Fachada Norte

Figuras 6.89 e 6.90 – Fachada Norte da célula-teste – estados inicial e atual.
Fonte: Fotos da autora.

Painéis 1 e 2 (Face Leste)

Figuras 6.91 e 6.92 – Painéis 1 e 2 da célula-teste – estados inicial e atual.
Fonte: Fotos da autora.

Figuras 6.93 e 6.94 – Painel 1 da célula-teste – estados inicial e atual.
Fonte: Fotos da autora.

Figuras 6.95 e 6.96 – Parte inferior do painel 1 da célula-teste – estados inicial e atual.
Fonte: Fotos da autora.

Figuras 6.97 e 6.98 – Painel 2 da célula-teste – estados inicial e atual.
Fonte: Fotos da autora.

Figuras 6.99 e 6.100 – Parte inferior do painel 2 da célula-teste – estados inicial e atual.
Fonte: Fotos da autora.

Painéis 3 e 4 (Face Sul)

Figuras 6.101 e 6.102 – Painéis 3 e 4 da célula-teste – estados inicial e atual.
Fonte: Fotos da autora.

Figuras 6.103 e 6.104 – Painel 3 da célula-teste – estados inicial e atual.
Fonte: Fotos da autora.

Figuras 6.105 e 6.106 – Parte inferior do painel 3 da célula-teste – estados inicial e atual.
Fonte: Fotos da autora.

Figuras 6.107 e 6.108 – Painel 4 da célula-teste – estados inicial e atual.
Fonte: Fotos da autora.

Figuras 6.109 e 6.110 – Parte inferior do painel 4 da célula-teste – estados inicial e atual.
Fonte: Fotos da autora.

Painéis 5 e 6 (Face Oeste)

Figuras 6.111 e 6.112 – Painéis 5 e 6 da célula-teste – estados inicial e atual.
Fonte: Fotos da autora.

Figuras 6.113 e 6.114 – Painel 5 da célula-teste – estados inicial e atual.
Fonte: Fotos da autora.

Figuras 6.115 e 6.116 – Parte inferior do painel 5 da célula-teste – estados inicial e atual.
Fonte: Fotos da autora.

Figuras 6.117 e 6.118 – Parte mediana do painel 5 da célula-teste – estados inicial e atual.
Fonte: Fotos da autora.

Figuras 6.119 e 6.120 – Parte superior do painel 5 da célula-teste – estados inicial e atual.
Fonte: Fotos da autora.

Figuras 6.121 e 6.122 – Painel 6 da célula-teste – estados inicial e atual.
Fonte: Fotos da autora.

Figuras 6.123 e 6.124 – Parte inferior do painel 6 da célula-teste – estados inicial e atual.
Fonte: Fotos da autora.

Painéis 7 e 8 (Face Norte)

Figuras 6.125 e 6.126 – Painéis 7 e 8 da célula-teste – estados inicial e atual.
Fonte: Fotos da autora.

Figuras 6.127 e 6.128 – Painel 7 da célula-teste – estados inicial e atual.
Fonte: Fotos da autora.

Figuras 6.129 e 6.130 – Parte inferior do painel 7 da célula-teste – estados inicial e atual.
Fonte: Fotos da autora.

Figuras 6.131 e 6.132 – Painel 8 da célula-teste – estados inicial e atual.
Fonte: Fotos da autora.

Figuras 6.133 e 6.134 – Parte inferior do painel 8 da célula-teste – estados inicial e atual.
Fonte: Fotos da autora.

Faces internas dos painéis

Internamente, praticamente não surgiram ocorrências. Por isso, são apresentadas apenas as fotos da situação atual⁷¹.

⁷¹ Devido às pequenas dimensões internas da célula-teste, as fotos tiveram de ser tiradas em ângulo.

Figuras 6.135 e 6.136 – Painéis 2-3 e 4-5 da célula-teste internamente – estado atual.
Fonte: Fotos da autora.

Figuras 6.137 e 6.138 – Parte inferior dos painéis 2 e 3 da célula-teste internamente – estado atual. Fonte: Fotos da autora.

Figuras 6.139 e 6.140 – Parte inferior dos painéis 4 e 5 da célula-teste internamente – estado atual. Fonte: Fotos da autora.

Figuras 6.141 e 6.142 – Painéis 6-7 e 8-1 da célula-teste internamente – estado atual.
Fonte: Fotos da autora.

Figuras 6.143 e 6.144 – Parte inferior dos painéis 6 e 7 da célula-teste internamente – estado atual. Fonte: Fotos da autora.

Figuras 6.145 e 6.146 – Parte inferior dos painéis 8 e 1 da célula-teste internamente – estado atual. Fonte: Fotos da autora.

6.4. Avaliação de desempenho do painel proposto

A avaliação de desempenho técnico e estrutural do painel de vedação vertical de tubos de papelão tem como objetivo principal concluir se este é apto ao seu emprego na construção civil no Brasil.

Como ponto de partida para esta avaliação usou-se a NBR 15575 - Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho (ABNT, 2008), por ser a única norma técnica brasileira que trata da avaliação de desempenho das construções; mas vale ressaltar que o projeto desenvolvido por este trabalho não foi feito para ser empregado exclusivamente em edificações habitacionais ou outro uso em específico.

Esta avaliação levou em consideração os dados obtidos por meio dos ensaios técnicos realizados em laboratório e das inspeções feitas na célula-teste construída. Dessa forma, pode-se verificar o desempenho geral do painel proposto neste trabalho e sugerir alguns usos e aplicações para o mesmo.

A NBR 15575 – Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho - é composta por seis partes, porém, as que interessam para este trabalho são:

- Parte 1: Requisitos gerais;
- Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas.

Esta norma enfoca as exigências dos usuários⁷² para o edifício habitacional e seus sistemas, quanto ao seu comportamento em uso. Para estabelecer o desempenho, a norma define requisitos⁷³ (qualitativos), critérios⁷⁴ (quantitativos ou premissas) e métodos de avaliação. No caso do

⁷² Segundo a NBR 15575, exigências dos usuários são o conjunto de necessidades do usuário do edifício habitacional a serem satisfeitas por este (e seus sistemas), de modo a cumprir com suas funções.

⁷³ Requisitos de desempenho são as condições, ou atributos qualitativos, que o edifício habitacional e seus sistemas devem possuir, para que possam satisfazer as exigências dos usuários (ABNT, 2008).

⁷⁴ Os critérios de desempenho são as especificações quantitativas dos requisitos de desempenho, expressos através de quantidades mensuráveis (ABNT, 2008).

desempenho ser considerado satisfatório, a NBR 15575 ainda o classifica com nível mínimo, intermediário ou superior⁷⁵.

Conforme se mencionou no início deste capítulo, os aspectos analisados nesta avaliação de desempenho são:

- a. Segurança estrutural;
- b. Estanqueidade e permeabilidade;
- c. Durabilidade;
- d. Manutenibilidade.

Ao mesmo tempo, esclareceu-se que a estanqueidade e a permeabilidade não seriam testadas segundo as diretrizes da NBR 15575, devido às limitações deste trabalho e a não se considerar essencial para os objetivos do mesmo; sendo testadas por meio de outros ensaios técnicos realizados em laboratório e da construção da célula-teste.

De forma análoga, a NBR 15575 determina que conclusões a respeito da durabilidade sejam elaboradas somente após dois anos de avaliação da célula-teste. E, quanto à manutenibilidade, esta possui relações diretas com a durabilidade.

Sendo assim, estes três quesitos foram avaliados de maneira geral e, em especial com relação aos dois últimos, foram feitas apenas considerações aos seus respeitos.

Segurança estrutural

A segurança estrutural foi avaliada conforme a NBR 15575-4, considerando a vedação vertical de tubos de papelão proposta por este trabalho como paredes leves ($G \leq 60 \text{ kg/m}^2$), com o intuito de verificar se os painéis de tubos de papelão e as vedações constituídas com estes possuem desempenho técnico satisfatório para serem empregados no Brasil tanto com função estrutural como com função de vedação.

Os requisitos avaliados foram:

1. Estabilidade e resistência estrutural:

⁷⁵ A avaliação feita neste trabalho sobre o desempenho técnico e estrutural dos painéis de vedação vertical de tubos de papelão propostos, com base na NBR 15575, não possibilitou utilizar esta classificação.

Critérios da NBR 15575:

1.1. Vedações verticais internas não estruturais solicitadas por cargas permanentes só podem apresentar fissuras ou deslocamentos toleráveis, e deslocamentos residuais que não impeçam o funcionamento dos componentes;

1.2. Vedações verticais externas não estruturais solicitadas por cargas horizontais só podem apresentar fissuras ou deslocamentos toleráveis, $d_h \leq h/125$ sem ocorrência de falhas, e $d_{hr} \leq h/1750$ ⁷⁶.

1.3. Com relação à função estrutural, a norma remete à parte 2 da mesma que determina, além de evitar a ruína da estrutura pela ocorrência de algum estado-limite último, os seguintes critérios:

- As estruturas devem ser projetadas e construídas atendendo aos requisitos da NBR 15575, e considerando as especificidades registradas nas normas brasileiras vigentes;
- No estado-limite último, o desempenho estrutural deve ser verificado pelas normas brasileiras de projeto estrutural específicas.

Avaliação:

- 1.1. De acordo com as inspeções realizadas na célula-teste não foram identificados deslocamentos ou fissuras que impeçam o funcionamento dos componentes;
- 1.2. Pelas inspeções na célula-teste não foram identificadas fissuras ou deslocamentos devido à ação de cargas horizontais;
- 1.3. Não existem normas técnicas específicas que considerem o material em estudo neste trabalho aplicado na construção civil. Portanto, para que este possa ser empregado com função estrutural no Brasil, deve-se utilizar como base os resultados dos ensaios realizados por este trabalho (adicionados de um coeficiente de segurança) e demais fontes confiáveis, se houver, respeitando os limites do material, as determinações da NBR15575 e, na medida do possível, de outras normas técnicas que possam auxiliar.

⁷⁶ d_h é o deslocamento horizontal e d_{hr} é o deslocamento horizontal residual.

Quanto aos ensaios realizados em laboratório, os painéis de vedação vertical de tubos de papelão apresentaram resistência à compressão simples de 5000 kgf a 6000 kgf, ou seja, de 4100 kgf a 5000 kgf por metro linear, e estabilidade estrutural até estas cargas, o que os torna aptos para a função estrutural, além de vedação, e o que se comprovou pela construção da célula-teste.

Conclusão: Desempenho satisfatório para vedações com e sem função estrutural, respeitando-se as características e limitações de resistência do material.

2. Deslocamentos e fissuração:

Critérios da NBR 15575-4:

Os critérios estabelecidos pela NBR 15575-4 são os mesmos para o requisito anterior.

Avaliação:

Considera-se a mesma avaliação citada para o requisito anterior.

Conclusão: Desempenho satisfatório para vedações com e sem função estrutural, respeitando-se as características e limitações de resistência do material.

3. Impacto de corpo mole para edificações com mais de um pavimento:

Critérios da NBR 15575-4:

3.1. Vedações verticais externas sem função estrutural constituídas por elementos leves ($G < 60\text{kg/m}^2$) ⁷⁷:

a) sob impactos externos de 240J, não devem apresentar falhas, $d_h \leq h/62,5$, $d_{hr} \leq h/312,5$;

b) sob impactos externos de 360J, não devem apresentar falhas;

c) sob impactos externos de 720J, não deve ocorrer ruptura ou instabilidade.

3.2. Vedações verticais externas com função estrutural:

⁷⁷ G é o peso próprio da vedação vertical, expresso em kg/m².

- a) sob impactos internos de 120J, não devem apresentar falhas, $d_h \leq h/250$, $d_{hr} \leq h/1250$;
- b) sob impactos internos de 180J, não devem apresentar falhas;
- c) sob impactos internos de 240J e 480J, não deve ocorrer ruptura ou transpasse do corpo percussor do impacto;
- d) sob impactos externos de 120J e 180J, não devem apresentar falhas;
- e) sob impactos externos de 240J, não devem apresentar falhas, $d_h \leq h/250$, $d_{hr} \leq h/1250$;
- f) sob impactos externos de 360J e 480J, não devem apresentar falhas;
- g) sob impactos externos de 720J e 960J, não deve ocorrer ruptura.

3.3. Vedações verticais internas sem função estrutural:

- a) sob impactos de 60J, não devem apresentar falhas, $d_h \leq h/62,5$, $d_{hr} \leq h/625$;
- b) sob impactos de 120J são admitidas falhas localizadas, mas não deve ocorrer ruína.

3.4. Vedações verticais internas com função estrutural:

- a) sob impactos de 60J, não devem apresentar falhas;
- b) sob impactos de 120J, não devem apresentar falhas, $d_h \leq h/250$, $d_{hr} \leq h/1250$;
- c) sob impactos de 180J, não devem apresentar falhas generalizadas;
- d) sob impactos de 240J são admitidas falhas localizadas;
- e) sob impactos 360J, não deve ocorrer ruptura.

Avaliação:

3.1. Vedações verticais externas sem função estrutural constituídas por elementos leves ($G < 60\text{kg/m}^2$)

- a) sob impactos externos de 240J apresentaram falhas localizadas e deslocamentos acima do permitido;
- b) sob impactos externos de 360J apresentaram falhas localizadas;

c) não atingiram o impacto de 720J.

3.2. Vedações verticais externas com função estrutural:

a) sob impactos internos de 120J não apresentaram falhas, mas os deslocamentos horizontais foram acima do permitido;

b) sob impactos internos de 180J, não apresentaram falhas;

c) sob impactos internos de 240J e 480J não ocorreu ruptura ou transpasse do corpo percussor do impacto;

d) sob impactos externos de 120J e 180J não apresentaram falhas;

e) sob impactos externos de 240J apresentaram falhas e deslocamentos horizontais acima do permitido;

f) sob impactos externos de 360J e 480J apresentaram falhas;

g) não atingiram os impactos externos de 720J e 960J.

3.3. Vedações verticais internas sem função estrutural:

a) sob impactos de 60J não apresentaram falhas, mas o deslocamento horizontal instantâneo foi acima do permitido;

b) sob impactos de 120J não apresentaram falhas localizadas, nem ocorreu ruína.

3.4. Vedações verticais internas com função estrutural:

a) sob impactos de 60J não apresentaram falhas;

b) sob impactos de 120J não apresentaram falhas, mas os deslocamentos horizontais foram acima do permitido;

c) sob impactos de 180J não apresentaram falhas;

d) sob impactos de 240J apresentaram falhas localizadas admitidas;

e) sob impactos 360J não ocorreu ruptura.

Pela aplicação dos parâmetros da NBR 15575-4 para este requisito, obteve-se os seguintes resultados para a avaliação de desempenho dos painéis propostos por este trabalho, para:

Vedação interna com e sem função estrutural: apenas um deslocamento horizontal ocorreu acima do permitido, mas satisfaz aos demais critérios.

Vedações verticais externas com função estrutural: até o item d apenas se extrapolou em alguns deslocamentos horizontais, mas não satisfaz aos demais itens.

Vedações verticais externas sem função estrutural constituídas por elementos leves ($G < 60\text{kg/m}^2$): não satisfaz a nenhum dos itens.

De acordo com a NBR 15575-4, os painéis propostos por este trabalho seriam reprovados neste requisito. Contudo, deve-se enfatizar que os parâmetros da norma utilizada não foram elaborados considerando o material em estudo neste trabalho ou outros materiais alternativos, mas apenas os materiais convencionais.

Por outro lado, deve-se considerar que este foi o ensaio técnico que mais surpreendeu pelo comportamento do material, uma vez que se pode perceber que os painéis de vedação vertical de tubos de papelão possuem grande elasticidade e tenacidade, tanto que não atingiram a ruptura, nem tiveram a sua integridade e estabilidade comprometidas.

Desconsiderou-se, portanto, os itens reprovados pela norma para este requisito, até pelo fato de em geral serem em relação aos deslocamentos horizontais.

Conclusão: Desempenho satisfatório para vedações com e sem função estrutural, respeitando-se as características e limitações do material.

4. Impacto de corpo mole para edificações térreas:

Critérios da NBR 15575-4:

4.1. Vedações verticais externas sem função estrutural constituídas por elementos leves ($G < 60\text{kg/m}^2$):

a) sob impactos externos de 120J e 180J, não devem apresentar falhas, $d_h \leq h/62,5$, $d_{hr} \leq h/312,5$;

b) sob impactos externos de 360J, não deve ocorrer ruptura ou transpasse do corpo percussor do impacto.

4.2. Vedações verticais externas com função estrutural:

- a) sob impactos internos de 120J, não devem apresentar falhas, $d_h \leq h/250$, $d_{hr} \leq h/1250$;
- b) sob impactos internos de 180J, não devem apresentar falhas;
- c) sob impactos internos de 240J e 480J, não deve ocorrer ruína ou transpasse do corpo percussor do impacto;
- d) sob impactos externos de 120J e 180J, não devem apresentar falhas;
- e) sob impactos externos de 240J, não devem apresentar falhas, $d_h \leq h/250$, $d_{hr} \leq h/1250$;
- f) sob impactos externos de 360J e 480J, não deve ocorrer ruptura;
- g) sob impactos externos de 720J, não deve ocorrer ruína.

Avaliação:

4.1. Vedações verticais externas sem função estrutural constituídas por elementos leves ($G < 60\text{kg/m}^2$):

- a) sob impactos internos de 120J não apresentaram falhas, mas os deslocamentos horizontais foram acima do permitido;
- b) sob impactos externos de 360J não ocorreu ruptura ou transpasse do corpo percussor do impacto.

4.2. Vedações verticais externas com função estrutural:

- a) sob impactos internos de 120J não apresentaram falhas, mas os deslocamentos horizontais foram acima do permitido;
- b) sob impactos internos de 180J não apresentaram falhas;
- c) sob impactos internos de 240J e 480J não ocorreu ruína ou transpasse do corpo percussor do impacto;
- d) sob impactos externos de 120J e 180J não apresentaram falhas;
- e) sob impactos externos de 240J, apresentaram falhas localizadas e os deslocamentos horizontais foram acima do permitido;
- f) sob impactos externos de 360J e 480J não ocorreu ruptura;
- g) não atingiram o impacto externo de 720J.

Pela aplicação dos parâmetros da NBR 15575-4 para este requisito, obteve-se os seguintes resultados para a avaliação de desempenho dos painéis propostos por este trabalho, para:

Vedações verticais externas sem função estrutural: atenderam aos critérios, exceto os deslocamentos horizontais que foram acima do permitido.

Vedações verticais externas com função estrutural: não satisfizeram ao critério e nem aos parâmetros de deslocamentos horizontais dos demais itens, mas atenderam a todos os outros critérios com relação à apresentação de falhas, ocorrência de ruptura, ruína e transpasse do corpo percussor do impacto.

De acordo com a NBR 15575-4, os painéis propostos por este trabalho também seriam reprovados neste requisito, devido aos deslocamentos horizontais terem sido acima do permitido.

Contudo, as mesmas observações tecidas para o requisito anterior são válidas neste caso. Desconsiderou-se, portanto, os itens reprovados pela norma para este requisito, elevando-se a consideração aos ensaios realizados em laboratório.

Conclusão: Desempenho satisfatório para vedações com e sem função estrutural, respeitando-se as características e limitações do material.

5. Impacto de corpo duro:

Critérios da NBR 15575-4:

5.1. Vedações verticais externas:

- a) sob impactos internos de 2,5J, não devem apresentar falhas;
- b) sob impactos internos de 10J, não deve ocorrer ruptura ou transpasse do corpo percussor do impacto;
- c) sob impactos externos de 3,75J, não devem apresentar falhas inclusive no revestimento;
- d) sob impactos externos de 20J, não deve ocorrer ruptura ou transpasse do corpo percussor do impacto.

5.2. Vedações verticais internas:

- a) sob impactos de 2,5J, não devem apresentar falhas;
- b) sob impactos de 10J, não deve ocorrer ruptura ou transpasse do corpo percussor do impacto.

Avaliação:

5.1. Vedações verticais externas:

- a) sob impactos internos de 2,5J não apresentaram falhas;
- b) não foram realizados os impactos internos de 10J;
- c) sob impactos externos de 3,75J não apresentaram falhas;
- d) não foram realizados os impactos internos de 20J.

5.2. Vedações verticais internas:

- a) sob impactos de 2,5J não apresentaram falhas;
- b) não foram realizados os impactos internos de 10J.

Com exceção dos impactos que não foram possíveis de serem realizados por falta da esfera de aço de 1 kg, os painéis propostos por este trabalho atenderam muito bem a todos os critérios e, conseqüentemente, seriam aprovados pela NBR 15575, neste requisito.

Conclusão: Desempenho satisfatório para vedações com e sem função estrutural, respeitando-se as características e limitações do material.

Estanqueidade e permeabilidade

Como estes aspectos não foram testados conforme as diretrizes da NBR 15575-4, também não foi possível avaliá-los por esta norma.

Mesmo assim, tomou-se como base para a avaliação de desempenho dos painéis de vedação vertical de tubos de papelão a respeito destes aspectos os requisitos determinados para estes na norma referida, que são:

1. As vedações verticais externas devem ser estanques à água proveniente de chuvas incidentes ou de outras fontes;

2. As vedações verticais externas e internas não devem permitir a infiltração de água, através de suas faces, quando em contato com áreas molháveis e molhadas.

Avaliação:

Sendo a avaliação de desempenho dos painéis de vedação vertical de tubos de papelão a respeito destes aspectos feita considerando-se os resultados dos ensaios técnicos realizados em laboratório e das inspeções na célula-teste, tem-se:

No que diz respeito aos ensaios realizados em laboratório, o ideal seria que as resinas impermeabilizantes testadas apresentassem menor índice de absorção de umidade. Entretanto, mesmo assim decidiu-se testar as duas que apresentaram melhores resultados na célula-teste, por serem facilmente encontradas no comércio em geral, a fim de verificar o seu desempenho frente às intempéries.

As inspeções na célula-teste evidenciaram a absorção de umidade pelas bases dos painéis a partir da 3ª semana e o surgimento de manchas de umidade nas suas faces externas a partir da 7ª semana, o que foi considerado precoce; embora internamente não tenham tido ocorrências.

Como resultado das inspeções na célula-teste também se constatou que a resina C (com duplo filtro solar) apresentou melhor desempenho com relação à resina E (comum).

Conquanto, apesar de três dos quatro painéis de vedação vertical revestidos com esta resina até o momento não apresentarem manchas de umidade em suas faces externas, sabe-se que isso poderá ocorrer em breve, haja visto que um painel já apresentou estas manchas.

Ao mesmo tempo, o sistema de capeamento proposto para evitar a absorção de água pela base dos elementos não funcionou da forma como se desejava; embora mostrou-se melhor que apenas o revestimento fino e superficial feito com um pincel nos outros painéis.

A absorção de umidade pelos painéis de vedação vertical da célula-teste não gerou bolor, descamação, bolhas de umidade, ou qualquer

outro sinal de degradação dos tubos de papelão. Desse modo, as manchas de umidade ocorridas aparentam ser superficiais, ou seja, apenas uma degradação das próprias resinas impermeabilizantes.

O mais importante é que estas ocorrências não comprometeram os painéis de vedação vertical empregados na célula-teste, nem reduziram a sua estabilidade e segurança estrutural e, por isso, foram consideradas sem gravidade.

Não obstante, sabe-se que este é um fator que pode reduzir a vida útil de uma construção ou o seu desempenho em longo prazo, além de requerer manutenções com mais frequência e, desse modo, deve ter o seu desempenho reprovado para construções permanentes expostas à intempéries.

Considerando que os painéis de vedação vertical propostos por este trabalho possuem resistência e desempenho para serem empregados em construções internas e externas, com e sem função estrutural, como se relatou acima, isso não pode se tornar inviável pela sensibilidade do material perante umidade.

Faz-se necessário, portanto, continuar pesquisando e testando outros tipos de resinas impermeabilizantes que possam solucionar melhor a questão da absorção de umidade pelos tubos de papelão e possibilitar resistência ao material quando em contato com umidade.

Conclusão: Desempenho não satisfatório para construções permanentes expostas a intempéries.

Durabilidade e manutenibilidade

A NBR 15575 determina que conclusões a respeito da durabilidade de um componente ou sistema construtivo a partir da avaliação de uma célula-teste sejam elaboradas somente após dois anos. Além disso, percebe-se através da NBR 15575 que a manutenibilidade possui relações diretas com a durabilidade.

Entretanto, apesar da célula-teste construída para este trabalho ter sido inspecionada por apenas vinte semanas até este momento, algumas considerações puderam ser elaboradas sobre estes aspectos tomando-se

como base os requisitos determinados para estes na norma referida, que são:

1. Manter a capacidade funcional do edifício e de seus sistemas durante a vida útil de projeto, desde que sejam realizadas as intervenções de manutenção preestabelecidas;
2. Manter a capacidade do edifício e de seus sistemas e permitir ou favorecer as inspeções prediais, bem como as intervenções de manutenção previstas no manual de operação, uso e manutenção, com menores custos.

A NBR 15575 estabelece, ainda, vida útil de projeto mínima de 20 anos para vedações verticais internas e de 40 anos para vedações verticais externas.

Concomitantemente, a norma estabelece vida útil de projeto mínima de 10 anos para construções temporárias e de 30 anos para construções permanentes.

Avaliação:

Sendo a avaliação de desempenho dos painéis de vedação vertical de tubos de papelão a respeito destes aspectos feita considerando-se os resultados dos ensaios técnicos realizados em laboratório e das inspeções na célula-teste, tem-se:

Primeiramente, há de se considerar que os tempos mínimos de vida útil estabelecidos pela NBR 15575 tanto para vedações como para edificações em geral foram estabelecidos com base em materiais de construção, componentes e sistemas construtivos convencionais⁷⁸.

Ao mesmo tempo que a referida norma admite que partes diferentes de uma mesma construção podem ter vidas úteis diferentes, falta admitir que a vida útil está diretamente relacionada às condições de exposição, uso e manutenção. No entanto, a norma é taxativa com relação aos tempos de vida útil das construções.

⁷⁸ A NBR 15575 não considera os materiais alternativos em suas disposições. Esta é uma atitude que não condiz com os incentivos necessários à busca pela sustentabilidade, reciclagem e geração de novos materiais de construção, não contribuindo com as inúmeras pesquisas que vêm sendo desenvolvidas em diversas universidades no Brasil e ao desenvolvimento destas.

Não obstante, os resultados obtidos por meio dos ensaios técnicos realizados neste trabalho, assim como a observação a respeito do comportamento dos painéis de vedação vertical, e as inspeções na célula-teste até o momento permitem afirmar que estes possuem desempenho técnico suficiente para comporem construções permanentes⁷⁹.

No entanto, sabe-se que a absorção de umidade pelo material é um fator que pode reduzir a sua vida útil, principalmente quando empregado em ambientes externos, e o seu desempenho ao longo do tempo, requerendo manutenções com mais frequência.

Desse modo, considera-se necessário pesquisar e testar outros tipos de resinas impermeabilizantes que possam solucionar melhor essa questão e possibilitar vida útil longa aos painéis expostos às intempéries e maior intervalo entre as manutenções.

Por outro lado, as condições de exposição dos painéis de vedação vertical de tubos de papelão podem ser a chave para solucionar esta questão, pois podem ser definidas em projeto de modo que resolvam esse problema por si só, garantindo vida útil bastante longa a estes componentes.

Conclusão: É necessário continuar as inspeções na célula-teste até que se complete 2 anos para se poder elaborar conclusões mais consistentes a respeito da durabilidade e manutenibilidade dos painéis de vedação vertical de tubos de papelão propostos por este trabalho, quando expostos à intempéries, não só no que diz respeito à impermeabilização dos mesmos, mas também às implicações que esta poderá gerar à sua segurança e resistência estrutural.

⁷⁹ Frisa-se que o permanente, neste caso, por se tratar de um material alternativo e inovador, pode significar vida útil diferente da estipulada pela NBR 15575.

6.5. Considerações finais sobre o desempenho do painel proposto

O desempenho de um componente construtivo é resultante do desempenho dos materiais que o constituem somado ao desempenho do sistema construtivo proposto, com relação a um determinado uso ou situações de exposição.

A avaliação de desempenho dos painéis de vedação propostos por este trabalho, exposta acima, levou em consideração os resultados obtidos por meio dos ensaios técnicos realizados em laboratório e das inspeções da célula-teste, e os requisitos e critérios estabelecidos na NBR 15575 - Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho.

Como resultado desta avaliação, pode-se dizer que os painéis de vedação vertical de tubos de papelão propostos tiveram seu desempenho considerado satisfatório quanto à segurança e resistência estrutural.

Desse modo, pode-se indicar o seu uso em vedações verticais tanto com função de vedação, ou painéis divisórios, como com função de estrutura. O seu emprego em construções com vários pavimentos pode ser feito com a função de vedação; porém, para este caso, a função estrutural não foi testada por este trabalho.

Existe a ressalva de se respeitarem as características e limitações de resistência desse componente construtivo na escolha do tipo de cobertura a ser adotada⁸⁰, no caso de emprego com função estrutural, e demais solicitações que possam ocorrer devido ao uso que tenha a construção, independente da função de seu emprego.

Em situações que exijam segurança e resistência estrutural acima da apresentada pelos painéis de vedação vertical propostos neste trabalho, pode-se utilizá-los apenas para vedação, em associação com uma estrutura primária feita de outro material, como por exemplo, a madeira.

⁸⁰ No anexo C é apresentada uma tabela com os pesos próprios de diversos tipos de coberturas comumente utilizados em construções.

Referindo-se aos aspectos estanqueidade/permeabilidade e durabilidade/manutenibilidade, evidenciou-se uma importante relação entre ambos para o sistema construtivo proposto.

Assim sendo, ficou nítida a necessidade de pesquisar e testar outros tipos de resinas impermeabilizantes que possam evitar a absorção de umidade pelos tubos de papelão de maneira mais eficiente, e possibilitar a este material durabilidade e vida útil longa mesmo tendo contato com umidade, além de maior intervalo entre as manutenções nos painéis de vedação vertical de tubos de papelão desenvolvidos por este trabalho.

Desse modo, de acordo com a avaliação de desempenho realizada para estes, por enquanto pode-se indicar o seu uso em ambientes internos para construções permanentes e, principalmente para as temporárias, e em ambientes externos com exposição às intempéries apenas para construções temporárias.

Por outro lado, como se sabe que os problemas referentes à estanqueidade e permeabilidade estão associados às condições de exposição dos painéis de vedação vertical, podem-se propor soluções em projeto que os evitem. No caso de áreas externas uma opção é proteger os painéis de vedação vertical com grandes beirais, brises, ou outros elementos. No caso de ambientes internos, as áreas úmidas devem ser executadas com outro material ou revestidas com painéis resistentes à água.

Cabe aqui salientar que o uso dos painéis de tubos de papelão propostos por este trabalho em vedações internas e áreas secas aumenta a sua durabilidade, por estarem protegidos dos agentes agressivos do meio e umidade; podendo, inclusive, serem utilizados sem revestimento impermeabilizante, dependendo do caso, e favorecendo a sustentabilidade ambiental ao se usar o material puro.

E, retomando a ideia de que as vedações verticais compõem o subsistema que mais demanda recursos naturais para a sua construção e mais gera resíduos após uma possível demolição, vale ressaltar que geralmente as vedações verticais internas possuem volume maior que as vedações verticais externas. Portanto, mesmo que os painéis de tubos de papelão propostos por este trabalho sejam empregados apenas em

ambientes internos, numa construção, a contribuição para a sustentabilidade ambiental será bastante significativa.

Quanto ao seu emprego em edificações com usos diversos (residencial, comercial, escolar etc), devem-se levar em conta as características dos painéis de vedação vertical propostos, com relação às necessidades de cada tipo de espaço, em termos de segurança e resistência estrutural, estanqueidade e permeabilidade, durabilidade e manutenibilidade, que foram os aspectos avaliados neste trabalho; mas também outros aspectos como conforto ambiental, salubridade, funcionalidade, conforto tátil, estética etc, que devem ser investigados em trabalhos futuros.

7 . D I S C U S S Õ E S

Baseando-se na necessidade de se promover a reciclagem e a reutilização de resíduos no setor da construção civil, este trabalho se dispôs a propor e analisar o desempenho técnico e estrutural de um painel de vedação vertical formado por tubos de papelão, cuja matéria-prima é abundante no Brasil.

O desenvolvimento deste trabalho foi feito em três etapas, cuja sequência foi essencial para o cumprimento dos seus objetivos: estudo das obras arquitetônicas nas quais Shigeru Ban construiu painéis de vedação com tubos de papelão, projeto e proposta de um painel de vedação vertical de tubos de papelão por este trabalho, e avaliação de desempenho técnico e estrutural do mesmo.

A partir do estudo realizado, foi possível conhecer melhor os tubos de papelão, testar e avaliar o painel de vedação vertical proposto, e indicar diversos usos para os quais estes painéis podem ser utilizados; além de contra-indicar outros, pelo menos num primeiro momento.

Muitas constatações a respeito do painel de vedação vertical proposto por este trabalho foram geradas a partir deste estudo, várias positivas e algumas negativas, mas que de modo algum significam a impossibilidade ou a inviabilidade do seu emprego. Muito pelo contrário, isso apenas comprova que materiais diferentes possuem características também muito diferentes. Daí surgem as qualidades, vantagens e especificidades de

uso de cada material, que devem ser levadas em consideração, e que geram as diversas técnicas e sistemas construtivos.

Uma das principais características que diferem de um material para outro é a resistência. Conquanto, a comparação entre os diversos materiais não deve se limitar à sua resistência mecânica; e os atributos que estes possuem devem ser convertidos em possibilidades de exploração dos mesmos.

Os dados obtidos por meio dos ensaios técnicos, neste trabalho, embora constatados inferiores em relação aos materiais convencionais, não devem ser comparados a estes como se isso fosse o fator determinante para se concluir a respeito da aprovação ou não de seu emprego.

Deve-se utilizar os tubos de papelão em construções pelas suas vantagens, e buscar as soluções necessárias para se comporem sistemas construtivos resistentes, promovendo a harmonia entre construção e meio ambiente. Assim, os tubos de papelão devem ser empregados apenas em situações nas quais sejam adequados, e devem ter os seus atributos explorados da melhor maneira para gerarem uma boa arquitetura.

Diversas vantagens puderam ser identificadas ao se estudar os tubos de papelão neste trabalho e, em especial, através do sistema construtivo desenvolvido, como baixo impacto ambiental, baixo custo e rapidez na execução, limpeza na obra e não geração de entulho, salubridade ao manuseio, facilidade de execução por poucas pessoas, não necessidade de acabamento, leveza (sendo suficiente uma fundação rasa) etc.

Além disso, se é fato que cada material possui um diferencial ou benefício em relação aos demais (como, por exemplo, o concreto possui plasticidade que lhe permite ser moldado da forma como se deseja, o aço possui alta resistência que lhe permite formar estruturas esbeltas, tubulares, treliças e vencer grandes vãos), pode-se afirmar que o diferencial dos tubos de papelão é o seu potencial de reciclagem total, sem exigir transformação do seu resíduo para isso, e possibilitando através de um processo simples se fazerem tubos de papelão novos a partir de tubos de papelão danificados.

Algumas citações de Shigeru Ban, encontradas na bibliografia existente, fizeram-se presentes em diversos momentos durante as etapas

cumpridas neste trabalho. A primeira delas, mencionada na revisão bibliográfica deste trabalho, é:

“O material estrutural não tem que ser forte; até as estruturas de concreto podem ser facilmente destruídas por terremotos. A estabilidade de uma construção não depende da resistência mecânica de seu material.” (BAN, 1997, p. 132).

Nesta citação, Shigeru Ban faz refletir sobre o quanto é equivocada a impressão de fraqueza que se tem do material papel ou papelão, e incita que a resistência mecânica de um material não é o fator mais importante na estabilidade de uma construção; mas sim, a técnica construtiva adotada.

Isto pode ser comprovado no desenvolvimento deste trabalho, principalmente nas etapas de construção da célula-teste e avaliação de desempenho do painel proposto, quando um dado comportamento do material era descoberto e citações de Shigeru Ban como esta resumiam a percepção que se tinha a cada passo avançado no trabalho.

Outra idéia lançada por Shigeru Ban é que os tubos de papelão representam a “madeira evoluída”. Considerando que no início da cadeia produtiva, a matéria-prima dos tubos de papelão advém da madeira, e a sua resistência embora inferior à resistência desta lhes dá condição para comporem sistemas estruturais, confirma-se sentido na afirmação de Shigeru Ban.

Aliás, pensando que a extração de madeira atualmente se torna uma questão cada vez mais delicada, mesmo em se tratando de madeira de reflorestamento, que exige remanejamento das áreas plantadas para não se exaurir o solo, e devido à devastação das matas e necessidade de preservação destas para a produção de oxigênio e purificação dos ares, vê-se o quanto se torna cabível o emprego de tubos de papelão como uma alternativa para a substituição deste material, em situações que sejam adequadas; como, por exemplo, no uso de peças roliças.

E neste aspecto há mais vantagens para os tubos de papelão: primeiro que a madeira contém muita umidade e água incorporada, favorecendo a proliferação de fungos e outros micro-organismos, e os tubos de papelão não; segundo que uma árvore de reflorestamento requer pelo menos cinco anos para ter porte o suficiente para ser extraída e utilizada, enquanto que

tubos de papelão podem ser fabricados aos milhares de um dia para o outro a partir de papéis descartados, reduzindo a extração de recursos da natureza e o volume descartado nos aterros sanitários.

Sob esta ótica, sabe-se que a reciclagem e a busca por alternativas que visem a substituição dos materiais convencionais para promover a preservação do planeta são caminhos inevitáveis para o futuro da sociedade.

Neste sentido, deve-se incentivar o desenvolvimento de pesquisas sobre este material, na busca por soluções para as questões técnicas ainda não resolvidas, o seu emprego nas construções para promover a assimilação cultural deste material e possibilitar que a população o veja como um material de construção de fato, e não como um material fabricado para outra finalidade e adaptado ao uso nas construções para uma simples experimentação.

A indústria, por sua vez, deve considerar o emprego dos tubos de papelão como elementos de vedação e estrutura e evoluir na qualidade de seu produto, além de estabelecer preços a estes compatíveis com o setor da construção civil; bem como as comissões que elaboram normas técnicas não devem negligenciar os materiais de construção alternativos, mas sim desenvolver normas reguladoras para estes, assim como estes devem ser incluídos nas legislações existentes.

Resumindo, todos os esforços são válidos e devem ser feitos por todas as partes para se promover a inclusão dos tubos de papelão como mais uma opção de material de construção, sempre explorando os seus atributos da melhor forma para gerar obras arquitetônicas de qualidade.

Se foi percebido ou comprovado durante a realização deste trabalho que os tubos de papelão possuem menor durabilidade com relação a outros materiais de construção quando expostos à situações críticas de agressividade do meio, cabe utilizá-lo da maneira adequada, e não descartar o seu uso por mero preconceito; pois a importância de uma durabilidade extensa, neste caso, se mostra secundária e de valor minoritário perante as suas qualidades.

Seguindo o mesmo raciocínio, o fato de o sistema construtivo desenvolvido por este trabalho ter apresentado algumas falhas não significa a sua inviabilidade, ineficácia ou reprovação; para tudo há uma solução e se esta ainda não foi encontrada ou não existe, não quer dizer que um dia não existirá, pois as pesquisas servem para isso.

Em termos de descobertas e desenvolvimento, tudo é uma questão de tempo e dedicação. E, neste sentido, o painel de vedação vertical de tubos de papelão e o sistema construtivo desenvolvidos neste trabalho podem ser considerados bem resolvidos em várias questões, e embora precisem ser aperfeiçoados, estes contém muitos acertos e representam avanços significativos no desenvolvimento desta tecnologia no Brasil.

As principais contribuições deste trabalho foram: comprovar as potencialidades de uso de um novo material para a construção civil, no caso, os tubos de papelão, colaborando para a sustentabilidade ambiental; comprovar a grande possibilidade de emprego deste material em construções provisórias, entre outras, colaborando com as pessoas desabrigadas e as situações emergenciais; e em questionar às normas técnicas que não consideram e nem se adéquam em suas diretrizes e parâmetros aos materiais alternativos, sendo uma grave falha visto que, na conjuntura atual, o desenvolvimento de materiais alternativos é cada vez mais necessário, assim como os incentivos ao seu uso, e as pesquisas sobre estes são cada vez mais frequentes.

8 . C O N C L U S Õ E S

8.1. Conclusão da tese

Conforme se expôs no início deste trabalho, o seu objetivo principal era testar a hipótese formulada:

“O painel de vedação vertical de tubos de papelão proposto neste trabalho possui desempenho técnico e estrutural satisfatório para o seu emprego na construção civil no Brasil.”

Com base no trabalho desenvolvido, e nas discussões feitas anteriormente, concluiu-se:

- O painel de vedação vertical de tubos de papelão proposto neste trabalho possui desempenho técnico e estrutural satisfatório para o seu emprego no Brasil, em usos e condições de exposição que respeitem as suas características e limitações.

8.2. Conclusões do trabalho

Outras conclusões puderam ser extraídas deste trabalho:

- os painéis de vedação de tubos de papelão empregados por Shigeru Ban podem se desintegrar com facilidade, requerendo muitas pessoas para transportá-los;

- o sistema construtivo utilizado por Shigeru Ban para a construção das obras estudadas é muito falho com relação à construtibilidade, e impossibilita que a construção seja desmontada e os painéis sejam armazenados íntegros para um posterior reuso;

- os painéis de vedação vertical de tubos de papelão propostos por este trabalho podem ser facilmente transportados e armazenados íntegros;

- o uso dos painéis de vedação vertical de tubos de papelão propostos por este trabalho propicia uma construção limpa, sem geração de resíduos;

- as vedações executadas com os painéis de vedação vertical propostos por este trabalho possibilitam economia no custo de até 33% com relação às vedações convencionais;

- as vedações executadas com os painéis de vedação vertical propostos por este trabalho possibilitam economia no tempo de execução de até 82% com relação às vedações convencionais;

- o projeto do painel de vedação vertical de tubos de papelão proposto por este trabalho encontrou boas soluções para as deficiências apontadas nas obras de Shigeru Ban;

- os painéis de vedação vertical de tubos de papelão propostos por este trabalho podem ser indicados tanto para vedação, ou painéis divisórios, como para estrutura, desde que se respeitem as características e limitações de resistência do material;

- o uso dos painéis de vedação vertical de tubos de papelão propostos por este trabalho é adequado, principalmente, em ambientes internos e construções temporárias;

- para propiciar maior durabilidade e vida útil longa aos painéis de vedação vertical de tubos de papelão propostos por este trabalho, quando expostos a intempéries, é necessário testar outros tipos de resinas de proteção;

- os painéis de vedação vertical de tubos de papelão propostos por este trabalho não rompem nem entram em colapso quando são submetidos a cargas elevadas; a tendência é flambarem e entrarem em deformação plástica até perderem a estabilidade;
- os painéis de vedação vertical de tubos de papelão propostos por este trabalho não rompem nem entram em colapso quando sofrem impactos;
- os painéis de vedação vertical de tubos de papelão propostos por este trabalho são pouco duráveis se estiverem expostos à umidade e não forem tratados adequadamente;
- os tubos de papelão são um material de grande plasticidade e tenacidade.

8.3. Prosseguimento de estudo

O tema deste estudo é inédito no Brasil e, portanto, possibilita o desenvolvimento de muitas pesquisas. O desenvolvimento deste trabalho demonstrou a necessidade de se investigarem outras questões e gerou novas idéias e sugestões de estudos. Esta pesquisa pode ser continuada de diversas formas, como:

- realizando estudos de resistência ao fogo do material;
- testando o uso deste material em associação com outros, para fins de aumento de resistência;
- realizando estudos sobre a sustentabilidade do material;
- realizando estudos sobre o ciclo de vida do material;
- testando outros produtos, a fim de obter uma impermeabilização eficiente para o material;
- realizando estudos para melhorar a qualidade dos tubos de papelão produzidos no Brasil, visando a sua aplicação na construção civil;
- realizando estudos que visem o aperfeiçoamento do componente e do sistema construtivo desenvolvidos e a industrialização desta tecnologia;

- realizando estudos para aprimorar a montagem e desmontagem do sistema construtivo desenvolvido;
- realizando estudos sobre o conforto ambiental gerado pelos painéis propostos neste trabalho;
- dando continuidade às inspeções na célula-teste construída;
- realizando estudos sobre a durabilidade e manutenibilidade dos painéis de vedação vertical propostos por este trabalho;
- dando continuidade a estudos que investiguem a viabilidade econômica de utilização desta tecnologia no Brasil.

9 . B I B L I O G R A F I A

9.1. Referências bibliográficas

ABBATE, V. **Do bloco ao painel**. In: Revista Técnica, nº69, dez 2002. São Paulo: Pini, 2002. p.35-39.

ABREU, R. L. (2006). **Map locator of São Paulo's: São Carlos microregion**. Disponível em http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:SaoPaulo_Micro_SaoCarlos.svg. Acesso em 23/05/2009.

AGÊNCIA BRASIL. **MMA assina convênio com estados e municípios para tratamento de resíduos sólidos urbanos**. Disponível em: <http://www.ecodebate.com.br/2010/02/25/mma-assina-convenio-com-estados-e-municipios-para-tratamento-de-residuos-solidos-urbanos/>. Publicado em 25/02/2010. Acessado em 13/04/2010 às 9:15.

ALATI, D. **Nomad land**. In: Contract, nº4, abril 2006, p.86-91. EUA: VNU Business Publications.

AMBIENTE BRASIL. **Reciclagem de papel**. Disponível em http://ambientes.ambientebrasil.com.br/residuos/reciclagem/reciclagem_de_papel.html. Acessado em 06/02/2011 às 17:10.

ANAP (Associação Nacional dos Aparistas de Papel). **Volume de lixo no Brasil cresceu 7,7% em 2009**. Disponível em www.anap.org.br

/noticias/Volume+de+lixo+no+Brasil+cresceu+77+em+2009.

Acessado em 13/07/2010 às 9:00.

ARCHINECT. **Singapore Bienalle 06**. Disponível em <http://archinect.com/blog/article/21450878/singapore-biennale-06>. Acessado em 04/05/2010 às 17:10.

ARCHITECTURE AND URBANISM. **Paper tube architecture, sustainability and responsible citizenship**. Architecture and Urbanism, n320, mai 1997, p.132-43. Tóquio: A+U Publishing CO.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8949 - Paredes de alvenaria estrutural - ensaio à compressão simples - Método de ensaio**. Rio de Janeiro: ABNT, 1989.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11675 - Divisórias leves internas moduladas - Verificação da resistência a impactos**. Rio de Janeiro: ABNT, 1990.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575 - Desempenho de edifícios habitacionais de até 5 pavimentos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739 - Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos - Método de ensaio**. Rio de Janeiro: ABNT, 1994.

BAN, S. **Paper houses**. Revista Abitare, n362, mai 1997, p.130-3. Milão: Abitare Segesta.

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

BNH (BANCO NACIONAL DA HABITAÇÃO). **Sistema de racionalização da construção habitacional**. Rio de Janeiro: BNH, 1978.

BRACELPA (2010a). **Setor de celulose e papel - junho 2010**. (relatório). Disponível em: <http://www.bracelpa.org.br/bra2/?q=node/198>. Acessado em 05/07/2010 às 12:20.

- BRACELPA (2010b). **Produção de papel – em toneladas**. Disponível em: <http://www.bracelpa.org.br/bra2/?q=node/140>. Acessado em 05/07/2010 às 12:22.
- BRACELPA (2010c). **Relatório Anual 2008/2009**. Disponível em: <http://www.bracelpa.org.br/bra/estatisticas/pdf/anual/rel2008.pdf>. Acessado em 05/07/2010 às 12:25.
- BUNTROCK, D. **Shigeru Ban: ethical experimenter**. Architecture, v85, out 1996, p.104-9. Nova Iorque: BPI Communications, Inc.
- CAMPOLONGO, N. (2010a). **Design no cenário sustentável**. (catálogo). 2010. 08p.
- CAMPOLONGO, N. (2010b). **Entrevista**. Concedida em 06/07/2010. 04p.
- CASTRO, F. J. C. O. **A utilização de rejeitos agroindustriais, industriais e minerais na estabilização de solos para construção de moradias de interesse social**. Disponível em: www.habitare.org.br/prototipos_projeto4.aspx. Acessado em 14/05/08 às 14:35. 2008b.
- CIB. **The performance concept and its terminology**. Paris: Centre Scientifique et Technique du Batiment, 1975. CIB Report nº 32.
- CIB. **Agenda 21 para a construção sustentável**. Relatório. Publicação 237. São Paulo, 2000.
- CIB; UNEP. **Agenda 21 for sustainable construction in developing countries**. África do Sul: CSIR Building and construction technology, 2002.
- CSTC (CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DE LA CONSTRUCTION). **Guide des performances du bâtiment dans son ensemble**. Bruxelas : CTSC, 1979.
- DIMIBU. **Multiforma - Concretubo**. (catálogo). Dimibu Indústria de Artefatos de Papel e Papelão Ltda. Disponível em: <http://www.dimibu.com.br/catalogo.pdf>. Acessado em 07/03/2010 às 8:10. 10p.
- ECOPAK. **Chapa lisa**. Disponível em: www.ecopak.com.br/produtos. Acessado em 12/08/2010 às 17:45.

- EDWARDS, B. **Guía básica de la sostenibilidad**. Barcelona: Gustavo Gili, 2008.
- EMBRAPA. **Brasil visto do espaço**. Embrapa monitoramento por satélite, 2006. Disponível em: <http://cdbrasil.cnpm.embrapa.br>. Acessado em 17/05/2009.
- ETERNIT. **Produtos**. Disponível em: www.eternit.com.br/produtos. Acessado em 23/02/2011 às 14:35.
- FERREIRA, A. B. H. **Novo Aurélio Século XXI: o dicionário da língua portuguesa**. 3ª Ed. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1999.
- FREITAS, C. G. L. de (coord.); *et. al.* **Habitação e meio ambiente – Abordagem integrada em empreendimentos de interesse social**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT, 2001.
- GAMA, R. **A tecnologia e o trabalho na história**. Tese (Livre docência). São Paulo: USP: FAU, 1987.
- GIBBERD, J. **The sustainable building assessment tool: assessing how buildings can support sustainability in developing countries**. Disponível em: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.197.7550>. Acessado em 17/02/2010 às 18:00.
- GG PORTFOLIO. **Shigeru Ban**. Barcelona: Editorial Gustavo Gili, 1997. 64p.
- GOLBERT, G. **The nomadic museum**. In: *My Modern Painters*, 2005, p.82-83. Nova York: The H. W. Wilson Company.
- GREVEN, H.; BALDAUF, A. **Introdução à coordenação modular da construção no Brasil: uma abordagem atualizada**. ANTAC: Porto Alegre, 2007.
- GRIFFITH, A. **Buildability – The effect of design and management on construction**. In: *Advancing Building Technology*. Gaithersburg (EEUU), CIB/NBS, 1986. v.8, p.3504-12. Anais do 10º Congresso do CIB.
- GRUNOW, E. **Exposição revela, com diversão e arte, usos inusitados do papel**. In: *Revista Projeto Design*, nº259, set 2001, p.118-121. São Paulo: Arco Editorial.

- GRUNOW, E. **Loja tem revestimento e móveis de papelão, com design brasileiro**. In: Revista Projeto Design, nº323, jan 2007, p78-81. São Paulo: Arco Editorial.
- GUIA DA CONSTRUÇÃO. **Custos, suprimentos e soluções técnicas**. São Paulo: Pini, set. 2010.
- IF (INDUSTRIALIZATION FORUM). **Developing the hardware of a building system**. Cambridge: Industrialization Forum. p. 23-28, 1970.
- ISO (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION). **Performance standards in building: principles for their preparation and factor for inclusion**. Londres: ISO, 1981.
- KISS, P. **Tem que casar**. In: Revista Técnica, nº44, jan/fev 2000. São Paulo: Pini, 2000. p.20-23.
- LABORATÓRIO DE CONSTRUÇÃO CIVIL (EESC-USP). **Dados meteorológicos de São Carlos (SP) – nov.2010-mar./2011**. São Carlos: EESC: LCC (estação meteorológica). Acessado em 25/03/2011.
- LACERDA, M. **A fabricação dos tubos de papelão**. Zelepel Indústria e Comércio de Artefatos de Papel S/A. Entrevista concedida em 28/06/2006. 04p.
- LIXO. **Lixão x aterro**. Disponível em: http://www.lixo.com.br/index.php?option=com_content&task=view&id=144&Itemid=251. (s.d.). Acessado em 19 jul 2010 às 19:25.
- LOTURCO, B. **Boas práticas**. In: Revista Técnica, nº107, fev 2006. São Paulo: Pini, 2006. p.42-47.
- MADTELHAS. **Telhas cerâmicas**. Disponível em: <http://www.madtelhas.com.br/32.html>. Acessado em 22 fev 2011 às 10:40.
- MASISA. **Divisão painéis**. Disponível em: <http://www.masisa.com/bra/produto/paineis/>. Acessado em 15/05/2010 às 8:20.
- McQUAID, M. **Shigeru Ban**. Nova York: Phaidon Press, 2003.
- MIRANDA, S. **Superlimão – A cara do futuro**. Disponível em: <http://bravonline.abril.com.br/materia/superlimao-cara-futuro>. Acessado em 12/06/2010 às 14:10.

- MIYAKE, R. **Shigeru Ban: Paper in Architecture**. Nova York: Rizzoli International Publications, 2009.
- MONTEIRO, C. A. F. **A dinâmica climática e as chuvas no Estado de São Paulo – estudo geográfico sob forma de Atlas**. São Paulo: Universidade de São Paulo: Instituto de Geografia, 1973.
- NOTÍCIAS DA CONSTRUÇÃO. **Cresce o consumo de drywall no Brasil**. Disponível em: <https://noticiasdaconstrucao.wordpress.com/2009/06/03/cresce-o-consumo-de-drywall-no-brasil/>. Publicado em 03/06/2009. Acessado em 12/08/2010 às 17:40.
- O'CONNOR, J. T.; TUCKER, R. L. **Industrial project constructability improvement. Journal of construction engineering and management – ASCE**. Nova York, 112 (1): 69-82, 1986.
- O ESTADO DE S. PAULO (2010a). **Brasileiro produz tanto lixo quanto europeu, diz estudo**. Disponível em: <http://www.estadao.com.br/noticias/geral,brasileiro-produz-tanto-lixo-quanto-europeu-diz-estudo,556966,0.htm>. Publicado em 26/05/2010. Acessado em 26/05/2010 às 11:10.
- O ESTADO DE S. PAULO (2010b). **Lei do lixo exigirá R\$6,1 bilhões, estima associação**. Disponível em: <http://www.estadao.com.br/noticias/geral,lei-do-lixo-exigira-r-61-bilhoes-estima-associacao,589743,0.htm>. Publicado em 03/08/2010. Acessado em 03/08/2010 às 14:40.
- O GLOBO. **Baía de Guanabara recebe 80 toneladas de lixo flutuante por dia**. Disponível em: [www.oglobo.globo.com /blog.php?tema=4&post=1241](http://www.oglobo.globo.com/blog.php?tema=4&post=1241). Publicado em 19/08/2008. Acessado em 17/03/2010 às 14:00.
- PABLOS, J. M. **Estudo para a reutilização do resíduo sólido constituído pelas areias de fundição aglomeradas com argila, através da técnica de solidificação/estabilização em matrizes de cimento Portland, para aplicação no setor da construção civil**. Tese (doutorado). São Carlos: Universidade de São Paulo: Escola de Engenharia de São Carlos. 2008.
- PASTERNAK, A. **An earthquake-ready school for China (just add cardboard tubes)**. Disponível em: <http://www.treehugger.com/>

sustainable-product-design/an-earthquake-ready-school-for-china-just-add-cardboard-tubes.html. Publicado em 01/07/2009. Acessado em 04/05/2010 às 17:20.

PICARELLI, M. **Habitação, desenho industrial e tecnologia**. Tese (Livre docência). São Paulo: USP: FAU, 1982.

PLANETA SUSTENTÁVEL. **O entulho de Santa Isabel**. Disponível em: www.planetasustentavel.abril.com.br/noticia/lixo/conteudo_260611.shtml. (s.d.). Acessado em 19/07/2010 às 16:40.

POLO SERVIÇOS. **Descarte de entulho em Ecopontos combate problemas ambientais**. Disponível em: <http://poloservicos.wordpress.com/2009/05/09/descarte-de-entulho-em-eco-pontos-combate-problemas-ambientais/>. Publicado em 09/05/2009. Acessado em 19/05/2010 às 10:30.

PORTAL DA MADEIRA. **Painel colméia**. Disponível em: <http://portaldamadeira.blogspot.com.br/2010/04/painel-colmeia-lightweight-wood-panel.html>. Acessado em 12/08/2010 às 18:30.

PORTAL SÃO FRANCISCO. **Classificação dos lixos**. Disponível em: <http://www.portalsaofrancisco.com.br/alfa/meio-ambiente-reciclagem/tipos-de-lixo.php>. (s.d.). Acessado em 19/07/2010 às 19:30.

RICHARD, I. **Lula sanciona Política Nacional dos Resíduos Sólidos**. Disponível em: www.ecodebate.com.br/2010/08/02/lula-sanciona-politica-nacional-dos-residuos-solidos/. Publicado em 02/08/2010. Acessado em 03/08/2010 às 14:45.

ROCHA, J. C. **Desenvolvimento de protótipo para habitação popular**. Disponível em: http://www.habitare.org.br/prototipos_projeto2.aspx. Acessado em 14/05/2008 às 14:25.

ROCHA E SANTOS, A. **Tecnologia construtiva utilizando tubos de papelão**. In: Anais do XIII Encontro Latino Americano de Iniciação Científica. São José dos Campos: UNIVAP, 2009. pág 1-6.

ROSS, M. F. **A conversation with Shigeru Ban**. In: arcCA, 2007. (Revista eletrônica). Disponível em: www.aiacc.org/site/arcca.html. Publicado em 2007. Acessado em 07/04/2009 às 10:50.

- SABBATINI, F. H. **Desenvolvimento de métodos, processos e sistemas construtivos: formulação e aplicação de uma metodologia**. Tese (doutorado). São Paulo: USP:EPUSP, 1989.
- SALADO, G. C. **Diferentes Alternativas de Materiais e Técnicas Construtivas**. Trabalho Final de Graduação. São Paulo: Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Presbiteriana Mackenzie, 2003. 163p.
- SALADO, G. C. **Construindo com tubos de papelão: um estudo da tecnologia desenvolvida por Shigeru Ban**. Dissertação (mestrado). São Carlos: Universidade de São Paulo: Escola de Engenharia de São Carlos. 2006.
- SARLI, A. C. **La racionalizacion del proceso de produccion y circulacion de la vivienda**. In: Aspectos tecnicos y de produccion de sistemas constructivos. Caracas: Instituto Nacional de la Vivienda, v.1, s.d.
- SARTOR, C. E.; LAMBERTS, R. **Habitare : resultados de impacto 1995/2007**. Florianópolis: Coan Impressão Gráfica, 2008.
- SATTLER, M. A.; PEREIRA, F. O. R. (editores). **Construção e meio ambiente**. Porto Alegre: ANTAC, 2006. (Coleção Habitare, v.7).
- SHOPPING BANNER. **Produtos**. Disponível em: www.shopping.banner-link.com.br/loja/loja.asp?Loj... Acessado em 12/08/2010 às 17:45.
- SOARES, L. **Viva a Mata 2009**. Disponível em: <http://www.agendasustentavel.com.br/NoticiaDetalhe.aspx?id=2084>. Publicado em 23/04/2009. Acessado em 05/07/2010 às 15:00.
- SUPERLIMÃO (2010a). **Catálogo**. In: <http://superlimao.com.br/casavelha/main.html>. Acessado em 20/06/2010 às 11:15.
- SUPERLIMÃO (2010b). **Entrevista com Sérgio Cabral**. (entrevista). Concedida em 07/07/2010. 08p.
- SZUCS, C. P. Sistema STELLA/UFSC: avaliação e desenvolvimento de sistema construtivo em madeira de reflorestamento voltado para programas de habitação social. In: BONIN, L. C.; AMORIM, S. R. L. (edit.). **Inovação tecnológica na construção habitacional**. Porto Alegre: ANTAC, 2006. Coleção Habitare, vol. 6. p.66-115.

- TALARICO, W. **Cardboard-tube construction highlighted at MoMA exhibit and at Expo 2000 in Germany**. Architectural Record, v188, n8, ago 2000, p.173. Nova Iorque: Ed. Architectural Record.
- TCPO. **Tabelas de composição de preços para orçamentos**. São Paulo: Pini, 2008. 13ª Ed.
- THE JAPAN ARCHITECT. **Shigeru Ban**. Edição especial n30. Tóquio: A+U Publishing CO, summer 1998, 184p.
- TRIGO, J. T. **Tecnologia da construção de habitação**. Lisboa: Lneq, 1978.
- VACCARI, M. **Habitação ecológica e econômica em papel**. In: Anais do III Encontro Nacional sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis (III ENECS). São Carlos, 2003. p. 67-80.
- ZANCHETTA, D.; GRANDIN, F. **Descarte de entulho vai render multa de até R\$ 12 mil**. Disponível em <http://www.estadao.com.br/noticias/impresso,descarte-de-entulho-vai-render-multa-de-ate-r-12-mil,578176,0.htm>. Publicado em 08/07/2010. Acessado em 08/07/2010 às 9:00.
- ZELEPEL. **Ficha de inspeção**. Zelepel Indústria e Comércio de Artefatos de Papel S/A, 23/05/2008. Código 900.010584 - Tubo espiral 82,5 x 8 x 1450 mm. 01p.
- ZELEPEL. **Relatório de ensaio final**. Zelepel Indústria e Comércio de Artefatos de Papel S/A, 10/08/2010. Laudo Nº 123582 - Tubo espiral 90,5 x 5 x 2400 mm. 01p.

9.2. Bibliografia complementar consultada

- ARCOWEB. **Design de objetos – Exposição Brincadeiras de Papel**. Disponível em: <http://www.arcoweb.com.br/design/design-de-objetos-exposicao-brincadeiras-de-papel-corredor-lateral-27-09-2001.html>. Acessado em 23/04/2008 às 9:05.
- ARCOWEB. **Nido Campolongo – Loja de papelão**. Disponível em: <http://www.arcoweb.com.br/interiores/nido-campolongo-loja-em-20-03-2007.html>. Acessado em 15/02/2007 às 17:30.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (ABCP). **Vocabulário de teoria das estruturas**. São Paulo: ABCP, 1967.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR11173:1989 – Projeto e execução de argamassa armada**. Rio de Janeiro: ABNT, 1989.

BAYEUX, P. **Referência técnica do IPT – Passaporte da qualidade**. In: Revista Techné, n46, mai/jun 2000, p. 27-30. São Paulo : Pini.

BIJKER, W. E.; HUGHES, T. P.; PINCH, T. F. **The social construction of technological systems: new directions in the sociology and history of technology**. USA: The Mit Press, 1987.

BNH/IDEG. **Coordenação modular da construção**. (s.d.).

CENTRO INTERAMERICANO DE VIVIENDA. **Casa modular de concreto**. Bogotá: Centro Interamericano de Vivienda, 1956.

COLOMBIT S/A. **Sistemas constructivos livianos en seco**. Disponível em: <http://www.comaderas.com/catalogos/Gyplac.pdf>. Acessado em 03/07/2008 às 10:20.

CORREA, M. C. **Processos construtivos flexíveis: projeto do produto**. Dissertação (mestrado). São Carlos: USP: EESC: Departamento de Arquitetura e Urbanismo, 2000.

CORREA, M. C.; FABRICIO, M. M.; MARTUCCI, R. **A qualidade como parâmetro para o uso do conceito de flexibilidade**. In: Seminário Nacional sobre Desenvolvimento Tecnológico. São Paulo: USP: FAU: NUTAU, 1996.

CSN (Companhia Siderúrgica Nacional). **Sistema Modular de Construção CSN**. (catálogo técnico). 1999.

DAVEY, P. **Paper palace**. The Architecture Review, v208, n1243, set 2000, p.58-60. Londres: Emap Construct.

FROMONOT, F; EGO, R. **Shigeru Ban: L'elegance et l'urgence**. L'Architecture d'Aujourd'hui, n306, set 1996, p.40-7.

GERDAU. **Casa fácil**. (catálogo comercial). 2001.

GUINEY, A. **Paper bound**. Architecture, v89, n6, jun 2000, p.86-7. Nova York: BPI Communications, Inc.

- HILTI. **Manual técnico de fixações para engenheiros, arquitetos e projetistas.** (manual técnico). 2001.
- HINO, M. K. **Emprego do conceito de desempenho para a melhoria da qualidade do projeto de empreendimentos habitacionais.** Dissertação (mestrado). São Paulo: EPUSP, 2001.
- HINO, M. K. **Qualidade do projeto de empreendimentos habitacionais de interesse social: proposta utilizando o conceito de desempenho.** (Relatório Técnico). São Paulo: EPUSP, 2001.
- INO, A. **Papelão Ondulado: Viabilidade de Utilização na Construção.** Dissertação (mestrado). São Carlos: USP: EESC: Departamento de Arquitetura e Urbanismo, 1984.
- INVERTIA. **Construtora vende casa de plástico por R\$ 20 mil.** Disponível em: http://economia.terra.com.br/noticias/noticia.aspx?idNoticia=200611231856_INV_30261634. Acessado em 23/11/2006 às 16:56.
- INVERTIA. **Marcopolo venderá casas de plástico em larga escala em 2007.** Disponível em: http://economia.terra.com.br/noticias/noticia.aspx?idNoticia=200612061522_INV_30281396. Acessado em 6/12/2006 às 13:22.
- IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo). **Critérios mínimos de desempenho para habitações térreas de interesse social.** São Paulo: IPT, s.d. 82p.
- JURAN, J. M.; GRYNA, F. M.; SANTOS, M. C. O. (trad.). **Controle da qualidade: conceitos, políticas e filosofia da qualidade.** São Paulo: McGraw-Hill, 1991.
- KISS, P. **Tem que casar: fechamentos com painéis arquitetônicos pré-moldados.** In: Revista Techné, n44, p.20-23, jan/fev 2000. São Paulo: Pini.
- KNAUF; SENAI. **Manual de treinamento: sistemas de construção a seco – nível médio.** Queimados: Knauf do Brasil, 2000.
- LAMPARELLI, C. **A habitação e a industrialização da construção.** In: Espaço e Debates, nº7, out/dez 1982, p. 21-27. São Paulo.

- LANDOWSKI, M. **Construção seca e a arquitetura metálica**. In: Revista Construção Metálica, n37, p. 8-18. São Paulo: ABCEM.
- LOTUS INTERNATIONAL. **Paper arch: MoMA, New York, 2000**. Revista Lotus International, n111, 2001, p.52-3.
- LUCINI, Hugo Camilo. **Desenvolvimento de novos sistemas construtivos**. Dissertação (mestrado). São Carlos: USP: EESC: Departamento de Arquitetura e Urbanismo, 1984.
- MACIEL, L. L.; MELHADO, S. B. **O processo de projeto e a qualidade dos edifícios**. In: Anais do Seminário Internacional NUTAU'96. p. 443-455. São Paulo: USP:FAU, 1996.
- MARTUCCI, R. **Projeto tecnológico para edificações habitacionais: utopia ou desafio?** Tese (doutorado). São Paulo: Universidade de São Paulo: Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, 1990.
- MARTUCCI, R. **Relatório Final: análise e avaliação de desempenho: vila tecnológica de Ribeirão Preto**. São Carlos: USP: EESC: SAP: ARCTECH, 1997.
- MINKE, G. **Bauen mit paper**. In: Alternatives Bauen. Kassel (Alemanha), 1980.
- MITIDIERI, C. V. F. **Paredes em chapas de gesso acartonadas**. In: Revista Techné, set/out 1997. São Paulo: Pini.
- MULTIFIX. **Fixadores Multifix**. Disponível em: <http://www.autoperfurantes.com.br/s/quienes.htm>. Acessado em 12/08/2008 às 9:15.
- OBERMAYER, T. **Architectural Technology**. New York: Mac-Graw-Hill, 1976.
- PARÍCIO, I. **Los elementos: La construcción de la arquitectura**. Barcelona: Institut de Tecnologia de la construcció de Catalunya. 1996.
- PENTEADO, Adilson Franco. **Coordenação modular**. Dissertação (mestrado). São Paulo: USP: EPUSP, 1980.
- ROCHA, J. C.; JOHN, V. M. **Utilização de resíduos na construção habitacional**. Porto Alegre: ANTAC, 2003. (Coleção Habitare, v.4).
- ROMAN, H.; BONIM, L. C. (editores). **Normalização e certificação na construção habitacional**. Coleção Habitare, volume 3. Porto Alegre: ANTAC, 2003, 220p.

- ROSSO, Teodoro. **Métodos artesanais e métodos industriais**. São Paulo: USP: FAU, 1980.
- ROSSO, Teodoro. **Racionalização da construção**. São Paulo: USP: FAU, 1980.
- SANTOS, M. C. L. **Cidades de plástico e papelão: o habitat informal dos moradores de rua em São Paulo, Los Angeles e Tóquio**. Tese (livre-docência). São Paulo: FAU, 2003.
- SATTLER, M. A. **Demonstração de tecnologias sustentáveis na habitação popular**. Disponível em: www.habitare.org.br/prototipos_projeto7.aspx. Acessado em 14 mai. 2008 às 14:00.
- SCHONBERGER, R. J. **Técnicas industriais japonesas: nove lições ocultas sobre a simplicidade**. São Paulo: Pioneira, 1993.
- SEVERINO, A. J. **Metodologia do trabalho científico**. São Paulo: Ed. Cortez, 2007.
- STRASS, M. C. **Projeto e construtibilidade de habitações estruturadas com perfis de aço formados a frio: construções a seco com visão sistêmica**. Dissertação (mestrado). São Carlos: USP: EESC: Departamento de Arquitetura e Urbanismo, 2004.
- TANIGUTI, E. K. **Método construtivo de vedação vertical interna de gesso acartonado**. Dissertação (mestrado). São Paulo: USP: EPUSP, 1999.
- TECHNÉ. **Moradia popular em kit metálico**. In : revista Técnica, setembro de 2001, nº54. São Paulo: Ed. Pini. 2001.
- THE ARCHITECTURAL REVIEW. **Sacred site**. The Architectural Review, v206, n1234, dez 1999, p.71. Londres: Emap Construct.
- THE JAPAN ARCHITECT. **Expo 2000 Hannover Japan Pavilion**. Revista The Japan Architect, n40, winter 2001, p.48-51. Tóquio: A+U Publishing CO.
- TRAMONTANO, M. **Concepção espacial e soluções técnicas para habitação social: pré-moldagem e pré-fabricação com elementos de pequenas dimensões**. In: Seminário Nacional sobre Desenvolvimento Tecnológico. São Pulo: USP:FAU:NUTAU, 1996.

- TRAVAIN, M. A. L. **Estrutura leve: projeto de sistema de abrigo transformável**. Dissertação (mestrado). São Paulo: USP: FAU, 1987.
- VALENCIANI, V. C. **Ligações em estrutura de aço**. Dissertação (mestrado). São Carlos: USP: EESC, 1997.
- YAMAGUTI, A. **Pré-fabricação por ajuda mútua: conhecer, ensinar, aprender**. Dissertação (mestrado). São Paulo: FAU, 2006.
- ZENHA, R. M. **Catálogo de processos e sistemas construtivos para habitação**. São Paulo: IPT (Publicação IPT: n2515), 1998.

10 . A n e x o s

10.1. Anexo A – Custos e tempos de execução de vedações verticais convencionais

Para possibilitar comparações com o custo e o tempo de execução das vedações verticais de tubos de papelão propostas por este trabalho, abaixo foram calculados os custos/m² de vedações convencionais em alvenarias e painéis.

Os dados, inclusive os tempos de execução dos serviços, foram retirados de TCPO (2008) e Guia da Construção (set.2010)⁸¹.

A princípio, foram feitos os cálculos dos custos para alvenarias estruturais e de vedação para paredes externas e internas – tabelas 10.1 a 10.4.

Tabela 10.1 – Alvenaria estrutural para paredes externas.

ALVENARIA ESTRUTURAL com blocos cerâmicos 19 cm x 19 cm x 39 cm, juntas de 10 mm com argamassa mista de cimento, cal hidratada e areia sem peneirar traço 1:0,2:5,4 - tipo 3 - unidade: m ² - Espessura da parede: 19 cm					
Item	Unidade	Quant.	Preço Unit. (R\$)	Preço Mater. (R\$)	Preço MDO (R\$)
Areia lavada tipo média	m ³	0,017446	86,94	1,52	
Cal hidratada CH III	kg	0,3861	0,40	0,15	
Cimento Portland CP II-E-32 (resistência 32 MPa)	kg	3,861	0,39	1,51	
Bloco cerâmico vazado estrutural - bloco inteiro	Unidade	14,00	1,77	24,78	
Pedreiro	h	0,74	4,50		3,33
Servente	h	0,883	3,77		3,33
Subtotal				27,96	6,66
Total (1 m²)				34,62	

⁸¹ Foram considerados os preços dos materiais para o estado de São Paulo, em setembro de 2010 (período de aquisição de materiais e construção da célula-teste).

Tabela 10.2 – Alvenaria estrutural para paredes internas.

ALVENARIA ESTRUTURAL com blocos cerâmicos 14 cm x 19 cm x 39 cm, juntas de 10 mm com argamassa mista de cimento, cal hidratada e areia sem peneirar traço 1:0,2:5,4 - tipo 3 - unidade: m ² - Espessura da parede: 14 cm					
Item	Unidade	Quant.	Preço Unit. (R\$)	Preço Mater. (R\$)	Preço MDO (R\$)
Areia lavada tipo média	m ³	0,012932	86,94	1,12	
Cal hidratada CH III	kg	0,2862	0,40	0,12	
Cimento Portland CP II-E-32 (resistência 32 MPa)	kg	2,862	0,39	1,12	
Bloco cerâmico vazado estrutural - bloco inteiro	Unidade	14,00	1,41	19,74	
Pedreiro	h	0,70	4,50		3,15
Servente	h	0,806	3,77		3,04
Subtotal				22,10	6,19
Total (1 m²)				28,29	

Tabela 10.3 – Alvenaria de vedação para paredes externas.

ALVENARIA DE VEDAÇÃO com blocos cerâmicos furados 9 cm x 19 cm x 19 cm (furos horizontais), juntas de 12 mm com argamassa mista de cimento, cal hidratada e areia sem peneirar traço 1:2:8 - tipo 1 - unidade: m ² - Espessura da parede: 19 cm					
Item	Unidade	Quant.	Preço Unit. (R\$)	Preço Mater. (R\$)	Preço MDO (R\$)
Areia lavada tipo média	m ³	0,04148	86,94	3,61	
Cal hidratada CH III	kg	6,188	0,40	2,48	
Cimento Portland CP II-E-32 (resistência 32 MPa)	kg	6,188	0,39	2,68	
Bloco cerâmico furado de vedação 9 cm x 19 cm x 19 cm (comprimento:190 mm/ altura: 190 mm/ largura: 190 mm)	Unidade	54,00	0,34	18,36	
Pedreiro	h	1,50	4,50		6,75
Servente	h	1,84	3,77		6,94
Subtotal				27,13	13,69
Total (1 m²)				40,82	

Tabela 10.4 – Alvenaria de vedação para paredes internas.

ALVENARIA DE VEDAÇÃO com blocos cerâmicos furados 9 cm x 19 cm x 19 cm (furos horizontais), juntas de 12 mm com argamassa mista de cimento, cal hidratada e areia sem peneirar traço 1:2:8 - tipo 1 - unidade: m ² - Espessura da parede: 9 cm					
Item	Unidade	Quant.	Preço Unit. (R\$)	Preço Mater. (R\$)	Preço MDO (R\$)
Areia lavada tipo média	m ³	0,01464	86,94	1,27	
Cal hidratada CH III	kg	2,184	0,40	0,87	
Cimento Portland CP II-E-32 (resistência 32 MPa)	kg	2,184	0,39	0,85	
Bloco cerâmico furado de vedação 9 cm x 19 cm x 19 cm (comprimento:190 mm/ altura: 190 mm/ largura: 190 mm)	Unidade	27,00	0,34	9,18	
Pedreiro	h	1,00	4,50		4,50
Servente	h	1,12	3,77		4,22
Subtotal				12,17	8,72
Total (1 m²)				20,89	

Em seguida, foram calculados os custos para chapisco, reboco e emboço, conforme mostram as tabelas 10.5 a 10.8.

Tabela 10.5 – Chapisco para paredes externas e internas.

CHAPISCO para parede externa ou interna com argamassa de cimento e areia sem peneirar traço 1:3, e = 5 mm - unidade: m ²					
Item	Unidade	Quant.	Preço Unit. (R\$)	Preço Mater. (R\$)	Preço MDO (R\$)
Areia lavada tipo média	m ³	0,0061	86,94	0,53	
Cimento Portland CP II-E-32 (resistência 32 MPa)	kg	2,42	0,39	0,94	
Pedreiro	h	0,10	4,50		0,45
Servente	h	0,15	3,77		0,57
Subtotal				1,47	1,02
Total (1 m²)				2,49	

Tabela 10.6 – Reboco para paredes externas e internas.

REBOCO para parede externa ou interna, com argamassa de cal hidratada e areia peneirada traço 1:2, e = 5 mm - unidade: m ²					
Item	Unidade	Quant.	Preço Unit. (R\$)	Preço Mater. (R\$)	Preço MDO (R\$)
Areia média - Secagem e peneiramento	m ³	0,004675	86,94	0,41	
Cal hidratada CH III	kg	1,825	0,40	0,73	
Pedreiro	h	0,50	4,50		2,25
Servente	h	0,54	3,77		2,04
Subtotal				1,14	4,29
Total (1 m²)				5,43	

Tabela 10.7 – Emboço para paredes externas.

EMBOÇO para parede externa, com argamassa mista de cimento, cal hidratada e areia sem peneirar traço 1:2:6, e = 20 mm - unidade: m ²					
Item	Unidade	Quant.	Preço Unit. (R\$)	Preço Mater. (R\$)	Preço MDO (R\$)
Areia lavada tipo média	m ³	0,0305	86,94	2,65	
Cal hidratada CH III	kg	6,075	0,40	2,43	
Cimento Portland CP II-E-32 (resistência: 32 MPa)	kg	6,075	0,39	2,37	
Pedreiro	h	0,82	4,50		3,69
Servente	h	0,66	3,77		2,49
Subtotal				7,45	6,18
Total (1 m²)				13,63	

Tabela 10.8 – Emboço para paredes internas.

EMBOÇO para parede interna, com argamassa mista de cimento, cal hidratada e areia sem peneirar traço 1:2:8, e = 20 mm - unidade: m ²					
Item	Unidade	Quant.	Preço Unit. (R\$)	Preço Mater. (R\$)	Preço MDO (R\$)
Areia lavada tipo média	m ³	0,0244	86,94	2,12	
Cal hidratada CH III	kg	3,64	0,40	1,46	
Cimento Portland CP II-E-32 (resistência: 32 MPa)	kg	3,64	0,39	1,42	
Pedreiro	h	0,60	4,50		2,70
Servente	h	0,80	3,77		3,02
Subtotal				5,00	5,72
Total (1 m²)				10,72	

Também calcularam-se os custos para pintura interna e pintura externa – tabelas 10.9 e 10.10.

Tabela 10.9 – Pintura para paredes externas.

PINTURA COM TINTA LÁTEX ACRÍLICA em parede externa, com duas demãos, sem massa corrida - unidade: m ²					
Item	Unidade	Quant.	Preço Unit. (R\$)	Preço Mater. (R\$)	Preço MDO (R\$)
Líquido preparador de superfícies lata 18l	l	0,12	8,08	0,97	
Lixa para superfície madeira/ grana 100	Unidade	0,25	0,50	0,13	
Tinta látex acrílica (tipo de acabamento: fosco)	l	0,17	10,09	1,72	
Pintor	h	0,40	4,50		1,80
Ajudante de pintor	h	0,35	2,88		1,01
Subtotal				2,82	2,81
Total (1m²)				5,63	

Tabela 10.10 – Pintura para paredes internas.

PINTURA COM TINTA LÁTEX PVA em parede interna, com duas demãos, sem massa corrida - unidade: m ²					
Item	Unidade	Quant.	Preço Unit. (R\$)	Preço Mater. (R\$)	Preço MDO (R\$)
Selador base PVA para pintura látex	l	0,12	7,78	0,93	
Lixa para superfície madeira/ massa grana 100	Unidade	0,25	0,50	0,13	
Tinta látex PVA (tipo de acabamento: fosco)	l	0,17	8,35	1,42	
Pintor	h	0,40	4,50		1,80
Ajudante de pintor	h	0,35	2,88		1,01
Subtotal				2,48	2,81
Total (1 m²)				5,29	

Juntando todos os valores calculados nas tabelas acima, considerando-se que chapisco, reboco e emboço são executados nas faces interna e interna das vedações em geral, com diferenças entre ambas para o emboço, e considerando-se as pinturas interna e externa, tem-se o custo total de 1 m² para cada tipo de alvenaria – tabela 10.11.

Tabela 10.11 – Custo total para cada alvenaria.

Custo de Alvenaria completa com chapisco, reboco, emboço e pintura em 2 demãos em ambas as faces (interna e externa) – 1 m ²							
Alvenaria	RS/m ²	Chapisco (R\$/m ²)	Reboco (R\$/m ²)	Emboço (R\$/m ²)	Pintura externa (RS/m ²)	Pintura interna (RS/m ²)	Total (R\$/m ²)
Alvenaria estrutural - 19 cm	34,62	4,98	10,86	24,35	5,63	5,29	85,73
Alvenaria estrutural - 14 cm	28,29	4,98	10,86	21,44		10,58*	76,15
Alvenaria vedação - 19 cm	40,82	4,98	10,86	24,35	5,63	5,29	91,93
Alvenaria vedação - 9 cm	20,89	4,98	10,86	21,44		10,58*	68,75

* Considerando-se estas alvenarias para paredes internas, a pintura de ambos os lados é a pintura com tinta látex PVA.

Da mesma maneira, a tabela abaixo mostra os tempos de execução de cada serviço somados, para se executar estas alvenarias até o seu acabamento, ou pintura.

Como os dois operários trabalham simultaneamente, foi considerado apenas o tempo maior entre estes, geralmente o tempo requerido para o servente.

Tabela 10.12 – Tempo de execução total para cada alvenaria.

Tempo de execução da Alvenaria completa com chapisco, reboco, emboço e pintura em 2 demãos em ambas as faces (interna e externa) – 1 m ²							
Alvenaria	h	Chapisco (h)	Reboco (h)	Emboço (h)	Pintura externa (h)	Pintura interna (h)	Total (h)
Alvenaria estrutural - 19 cm	0,88	0,15	0,54	0,82	0,40	0,40	3,19
Alvenaria estrutural - 14 cm	0,80	0,15	0,54	0,80		0,80	3,09
Alvenaria vedação - 19 cm	1,84	0,15	0,54	0,82	0,40	0,40	4,15
Alvenaria vedação - 9 cm	1,12	0,15	0,54	0,8		0,80	3,38

Ao mesmo tempo, as tabelas abaixo mostram os custos de vedações de gesso acartonado e placas cimentícias.

Tabela 10.13 – Vedação de gesso acartonado.

PAREDE DE GESSO acartonado simples interna, espessura final 100 mm, pé-direito máximo 3,15 m - unidade: m ²					
Item	Unidade	Quant.	Preço Unit. (R\$)	Preço Mater. (R\$)	Preço MDO (R\$)
Parede de gesso acartonado simples (altura: 3,15m/ espessura: 100 mm)	m ³	1	58,50	58,50	
Subtotal				58,50	
Total (1 m²)				58,50	

Tabela 10.14 – Vedação de placa cimentícia.

PLACA CIMENTÍCIA para fechamento externo e interno do sistema Steel Frame, pé-direito máximo 2,40 m - unidade: m ²					
Item	Unidade	Quant.	Preço Unit. (R\$)	Preço Mater. (R\$)	Preço MDO (R\$)
Placa cimentícia (altura: 2400 mm/ largura: 1200 mm/ espessura: 12,5 mm)	m ³	1	83,06	83,06	
Subtotal				83,06	
Total (1 m²)				83,06	

Nota-se que o TCPO (2008) não apresenta detalhes a respeito de outros materiais necessários para a execução dessas vedações como, por exemplo, no caso dos painéis de gesso acartonado, a fita utilizada na junta entre os painéis.

Dessa forma, considera-se que os custos apresentados nas tabelas acima para as vedações executadas com estes painéis estão abaixo do valor real.

Em comparação com as vedações executadas com os painéis de vedação vertical de tubos de papelão propostos por este trabalho, constata-se economia considerável por estas (em relação a todas as alvenarias convencionais e aos painéis de gesso e cimentício) tanto no custo quanto no tempo de execução, mesmo se for considerada a execução da vedação de tubos de papelão mais completa, ou seja, externa, com revestimento impermeabilizante com duplo filtro solar (resina C), anéis de borracha e massa de calafetação, conforme mostrou-se na tabela 5.7, no capítulo 5.

10.2. Anexo B – Ensaio de resistência à compressão simples em painéis – Painel-teste

Conforme se mencionou no item 6.2.3, para se descobrir a carga provável de flambagem dos painéis de vedação vertical de tubos de papelão propostos neste trabalho, realizou-se o ensaio de resistência à compressão simples em um painel-teste antecipadamente.

Os resultados são expostos na tabela abaixo:

Tabela 10.15 – Resultados do ensaio de resistência à compressão em painel-teste sem resina.

Resistência à compressão simples em painéis - Painel-teste						
Forças aplicadas (kgf)			CP 1			
			Encurtamento (mm)			Flecha (mm)
1	2	total	1	2	média	
300	300	600	0,07	0,33	0,20	0,08
600	600	1200	0,07	0,33	0,20	0,08
900	900	1800	0,65	1,000	0,83	1,00
1200	1200	2400	0,58	2,48	1,53	1,07
1500	1500	3000	1,68	4,68	3,18	1,11
1800	1800	3600	2,48	5,26	3,87	1,37
2100	2100	4200	4,02	7,62	5,82	2,24
2400	2400	4800	5,35	8,22	6,79	4,38
2700	2700	5400	6,49	10,71	8,60	8,70

Assim, determinou-se que os incrementos de carga para os corpos-de-prova do ensaio seriam de 500 kgf.

10.3. Anexo C – Pesos-próprios de sistemas de coberturas convencionais

No item 6.5 falou-se sobre o desempenho técnico dos painéis de vedação vertical de tubos de papelão propostos por este trabalho, após a avaliação de desempenho dos mesmos.

Comentou-se, então, que durante a escolha do tipo de cobertura de uma construção executada com estes painéis para a função estrutural, devem-se respeitar as características e limitações de resistência desse componente construtivo e considerar os pesos-próprios das opções de coberturas existentes.

Para efeito de comparação com a cobertura executada na célula-teste e também com a capacidade de suportar cargas dos painéis de vedação vertical de tubos de papelão testados neste trabalho, evidenciada no ensaio de resistência à compressão simples em painéis (item 6.2.3), calcularam-se os pesos-próprios de alguns tipos de coberturas convencionais.

Considerou-se, para estas coberturas, estrutura convencional em madeira que, da mesma forma que na célula-teste, pesa cerca de 12 kg/m².

De acordo com o peso por m² de alguns tipos de telhas comumente utilizadas, a tabela 10.16 mostra o peso-próprio total de algumas coberturas convencionais.

Tabela 10.16 – Pesos-próprios de coberturas convencionais.

Pesos-próprios de coberturas convencionais com estrutura em madeira			
Telhas	Pesos-próprios		
	Telhas* (kg/m ²)	Estrutura Madeira (kg/m ²)	Total (kg/m ²)
Telha cerâmica Francesa*	44	12	56
Telha cerâmica Paulista*	52	12	64
Telha cerâmica Plan*	52	12	64
Telha cerâmica Romana*	44	12	56
Telha cerâmica Italiana*	45	12	57
Telha cerâmica Americana*	38	12	50
Telha cerâmica Portuguesa*	44	12	56
Telha cerâmica Colonial*	70	12	82
Telha de fibrocimento Ondulada (e = 6mm)**	18	12	30
Telha de fibrocimento Canaleta 90**	24	12	36
Telha de fibrocimento Canaleta 45**	24	12	36
Telha de fibrocimento Modulada**	25	12	37

*Fonte: Madtelhas (2011).

**Fonte: Eternit (2011).

Conclui-se que os painéis de vedação vertical de tubos de papelão propostos por este trabalho suportam todas as coberturas colocadas em exemplo.

10.4. Anexo D – Repercussão do trabalho

Devido ao ineditismo do trabalho, este despertou a curiosidade de vários interessados, desde jornalistas e repórteres de jornais, revistas, sites de internet, rádio e televisão, até empresas que ofereceram seus produtos para testes de resistência ao fogo e absorção de umidade.

As notícias publicadas nos diversos meios de comunicação são apresentadas a seguir, na seguinte ordem:

Jornais Impressos

1. A FOLHA. **Pesquisadores da USP São Carlos constroem casa de papelão.** In: Jornal A Folha, Folha Acadêmica (sessão, caderno A). São Carlos (SP), 14 dez 2010, p. 8.
2. ZERO HORA. **Uma boa construção.** In: Jornal Zero Hora, Nosso Mundo Sustentável (caderno). Porto Alegre (RS), 31 jan 2011, p.4-5.

Televisão

3. TV GLOBO (EPTV). **Casa de papelão – Pesquisadores da USP São Carlos desenvolveram o projeto de uma casa construída com papelão.** In: Jornal da EPTV – 1ª edição (telejornal). Disponível em: www.eptv.globo.com, em 09 dez 2010.
4. SBT. **Casa é construída em 4 dias e custa R\$30 mil.** In: Jornal do SBT – Noite (telejornal). Disponível em: www.sbt.com.br, em 16 mar 2011.
5. TV RECORD. **Casa de papelão.** In: Jornal SP Record (telejornal). Disponível em: www.recordribeiraopreto.com.br, em 20 dez 2010.
6. TV BRASIL. **Abrigos de baixo custo podem ajudar em desastres.** In: Jornal Repórter Brasil (telejornal). Disponível em: www.tvbrasil.ebc.com.br, em 16 fev 2011.

Sites

7. O GLOBO. **Casa feita com tubos de papelão, em fase de estudos, pode ser alternativa na construção civil.** In: Jornal O Globo (site). Disponível em: www.oglobo.globo.com, em 15 jan 2011.
8. TERRA. **Papelão é alternativa rápida e limpa na construção civil.** In: Terra, Mercado Ético (site, sessão). Disponível em: www.mercadoetico.terra.com.br, em 23 dez 2010.

9. PINI. **Casa com estrutura de papelão passa por ensaios.** In: Piniweb (site). Disponível em: www.piniweb.com.br, em 28 dez 2010.
10. AGÊNCIA USP DE NOTÍCIAS. **Papelão é alternativa rápida e limpa na construção civil.** In: Agência USP de Notícias (site). Disponível em: www.usp.br, em 23 dez 2010.
11. INOVAÇÃO TECNOLÓGICA. **Papelão é alternativa rápida e limpa na construção civil.** In: Inovação Tecnológica (site). Disponível em: www.inovacaotecnologica.com.br, em 29 dez 2010.

Revistas Impressas

12. SANTA CRUZ. **No lugar de tijolos, papelão.** In: Santa Cruz. (revista impressa). São Paulo (SP): Quatrocor, ano XIV, nº 152, mar 2011, p. 32-33.
13. KAPPA. **Parede de papelão reciclado passa por testes.** In: Kappa Magazine. (revista impressa). São Carlos (SP): PWC, ano 1, edição 17, nº 17, 21 fev 2011, p. 100.

Rádio

14. RÁDIO USP. **(Notícia divulgada sem título).** In: Rádio USP. Disponível em: FM 93,7 MHz, de 04 jan 2011 a 10 jan 2011, horários 8h30, 10h30, 11h30, 15h30, 16h30, 17h30.

Jornais Impressos

1. A FOLHA. Pesquisadores da USP São Carlos constroem casa de papelão. In: Jornal A Folha, caderno A, Folha Acadêmica (sessão). São Carlos (SP), 14 dez 2010, p. 8.

folha acadêmica **A FOLHA**

8 - Terça-feira, 14 de dezembro de 2010

Pesquisadores da USP São Carlos constroem casa de papelão

O trabalho inédito no país vai passar por 2 anos de estudos até chegar ao mercado

Arquiteta e pesquisadora Gerusa Salado dentro da casa feita de tubos de papelão, experimento em desenvolvimento na USP de São Carlos

Por Hever Costa Lima

O projeto de uma casa construída com papelão está em andamento na USP São Carlos através de pesquisa do departamento de arquitetura. O trabalho inédito no país vai passar por mais dois anos de estudos até chegar ao mercado. De acordo com a arquiteta Gerusa Salado, o projeto representa uma opção de material de construção civil mais barato e acessível à população que também pode contribuir com a sustentabilidade.

Segundo Gerusa, o projeto surgiu em 2002, quando despertou interesse em estudar materiais alternativos para a construção civil. "Nesse momento eu tomei conhecimento do trabalho do arquiteto japonês Shigeru Ban que já atua com papelão na construção há mais de 20 anos. Eu achei diferente e inédito, no Brasil este estudo é pioneiro", afirma.

"O meu intuito é estimular a produção de tubos de papelão destinados à construção civil", afirma.

De acordo com Gerusa Salado, o país terá de investir na produção de tubos es-

cartadas no meio ambiente passaram por vários testes antes de comprovar a resistência do material que substitui os pilares de concreto. "Como a construção civil é grande produtora de resíduos e consequentemente, degradadora do meio ambiente, ela tem a obrigação de fazer o inverso, de procurar recompensar usando resíduos dos seus componentes", afirma a pesquisadora.

De acordo com Gerusa Salado, o país terá de investir na produção de tubos es-

zados e se tornam bastante resistentes, chegando a suportar uma carga de três toneladas. A casa montada há 40 dias resistiu ao sol, chuva, vento e infiltrações. A prioridade do experimento é avaliar as paredes que em uma obra convencional custam caro e quando são demolidas geram grande quantidade de entulho.

Outra vantagem das paredes de papelão é que elas podem ser desmontadas e reaproveitadas por várias vezes.

2. ZERO HORA. **Uma boa construção.** In: Jornal Zero Hora, Nosso Mundo Sustentável (caderno). Porto Alegre (RS), 31 jan 2011, p.4-5.

REPORTAGEM DE CAPA

Uma boa construção

Redução dos resíduos produzidos e do desperdício de materiais é o grande desafio nos canteiros de obras

Reducir o impacto das construções passa por dois fatores principais. O uso de materiais produzidos e do desperdício de materiais, e o uso que faz com que as soluções tenham um impacto mínimo. Ainda assim, especialistas como o professor Jairo Andrade, de engenharia civil da FUCRS, e costumam colocar o planejamento como grande agente na redução do impacto.

— Uma obra bem planejada utiliza melhor os materiais comprados e evita, além do que vai para o lixo, o desperdício de materiais. Os materiais produzidos e do desperdício de materiais, e o uso que faz com que as soluções tenham um impacto mínimo. Ainda assim, especialistas como o professor Jairo Andrade, de engenharia civil da FUCRS, e costumam colocar o planejamento como grande agente na redução do impacto.

Parede feita de papelão

Paralelamente à redução do impacto na obra e ao reaproveitamento dos materiais, a Universidade Federal de São Carlos, em São Carlos, Minas Gerais, está desenvolvendo um projeto de parede feita de papelão e, até agora, os resultados são positivos. A ideia é que o material possa substituir paredes internas e externas de prédios e casas, além de ser usado em projetos de arquitetura e engenharia. O projeto, que já está em fase de testes, prevê a produção de um material sustentável, um meio de reduzir o impacto ambiental e a possibilidade de montar e desmontar as paredes também faz com que o modelo valha, de alguma forma, a revitalização.

Evolução lenta na construção civil

Entrevista - Salomon Levy, engenheiro civil

Salomon Levy é professor da turma de Engenharia Civil da Universidade Nova de Lisboa (Universidade Nova de Lisboa), em São Paulo, e coordenador do Curso Técnico para a Meio Ambiente, na Instituto Brasileiro de Meio Ambiente (Ibama).

Novo Mundo Sustentável - Como está a evolução da construção civil frente à redução de impacto ambiental?

Salomon Levy - O nosso setor não é como a informática, de evoluir de forma mais lenta. Ainda assim, acredito que a construção tem evoluído na velocidade que pode e consegue. Salomon Levy - O nosso setor não é como a informática, de evoluir de forma mais lenta. Ainda assim, acredito que a construção tem evoluído na velocidade que pode e consegue. Salomon Levy - O nosso setor não é como a informática, de evoluir de forma mais lenta. Ainda assim, acredito que a construção tem evoluído na velocidade que pode e consegue.

SISTEMAS INDUSTRIALIZADOS

São materiais pré-fabricados que podem substituir paredes internas e externas. Costumam ser montados de forma mais rápida, sem sobra de materiais.

Tijolos e blocos

Diferentemente de outros materiais - como o gesso - os tijolos e os blocos de concreto são produzidos dentro da própria obra. Para isso é preciso planejamento e criatividade.

Destino correto dos resíduos

Durante a construção ou a construção, a produção de entulho é inevitável. O importante é que o material seja descartado da forma correta. Os entulhos devem ser separados e encaminhados para o aterro apropriado, portanto, é importante que haja com- partimentos específicos.

Entulho

Durante a construção ou a construção, a produção de entulho é inevitável. O importante é que o material seja descartado da forma correta. Os entulhos devem ser separados e encaminhados para o aterro apropriado, portanto, é importante que haja com- partimentos específicos.

Concreto autoadensável

É uma técnica que utiliza menos água e menos cimento para produzir concreto. Esse processo produz menos resíduos do que o convencional.

Logística

É uma técnica que utiliza menos água e menos cimento para produzir concreto. Esse processo produz menos resíduos do que o convencional.

Televisão

3. TV GLOBO (EPTV). **Casa de papelão – Pesquisadores da USP São Carlos desenvolveram o projeto de uma casa construída com papelão.** In: Jornal da EPTV – 1ª edição (telejornal). Disponível em: www.eptv.globo.com, em 09 dez 2010.

The screenshot shows the EPTV.COM website interface. At the top, there's a navigation bar with links for Notícias, Lazer e Cultura, Esportes, Economia, Educação, and Multimídia. Below this is a search bar and a date indicator: 'Quinta-Feira, 23 de Dezembro de 2010'. The main content area features a video player titled 'Casa de Papelão' with the subtitle 'Pesquisadores da USP São Carlos desenvolveram o projeto de uma casa construída com papelão'. The video player shows a woman, Gerusa Salado, speaking into a microphone. To the left of the video player is a 'MediaCenter' sidebar with various links like 'Jornal da EPTV', 'Jornal Regional', 'EPTV Esporte', etc. To the right is a 'Notícias' sidebar with links like 'Agência EPTV', 'Brasil/Mundo', etc. Below the video player, there are social media sharing options: 'Enviar para amigo', 'Add aos favoritos', 'Adicionar comentários', and 'Comprar este vídeo'. At the bottom right, there is a list of 10 items, likely a playlist or a list of related content.

EPTV.COM / MULTIMÍDIA

Quinta-Feira, 23 de Dezembro de 2010

Notícias Lazer e Cultura Esportes Economia Educação Multimídia

BUSCA: EPTV.com

QUEM SOMOS MAPA DO SITE BUSCA AVANÇADA RSS

MediaCenter

- Jornal da EPTV
- Jornal Regional
- EPTV Esporte
- Terra da Gente
- Caminhos da Roça
- Documentários EPTV
- Séries da EPTV
- EPTV Comunidade
- EPTV 30 Anos
- Derby
- Come-Fogo
- Bom Dia Cidade
- Especial 79 - 09
- Implosão Rodoviária
- Virando Bixo
- EP Campinas
- Resenha.com
- Dengue
- Ferriados
- Você na EPTV
- Galeria de Fotos

Notícias

- Agência EPTV
- Brasil/Mundo
- EP Campinas
- Região Campinas
- Região Central
- Região Ribeirão
- Região Sul de Minas
- Você é a Notícia

Especiais

- Fim de Ano
- Dengue

Campinas Central Ribeirão Sul de Minas

Casa de Papelão

Pesquisadores da USP São Carlos desenvolveram o projeto de uma casa construída com papelão

GERUSA SALADO arquiteta USP

00:46 / 01:47

Pesquisadores da USP São Carlos desenvolveram o projeto de uma casa construída com papelão. (9/12/2010)

« dê sua nota link: <http://eptv.globo.com/em> embed: <object classid="clsid:D2

Enviar para amigo Add aos favoritos Adicionar comentários Comprar este vídeo

1. Serra do Roncador - 3

2. Restaura Arcadas

3. Aquidauana Tamanduá 3

4. Aquidauana Tamanduá 4

5. Lagoa dos Patos 2

6. Programa 397 - Bloco 1

7. Sonegação escolas

8. Estância Fartura

9. Leonel e Goiã Filho - Parte 1

10. Aquário Belo Horizonte 3

Ver todos os mais votados

1. Jalapão 1

2. Lagoa dos Patos 2

3. Serra da Canastra 2

4. Serra do Roncador - 3

5. Estação Taimã 4

6. Ver e Rever

<http://eptv.globo.com/emc/VID,0,1,27009;2,pesquisadores+da+usp+sao+carlos+desenvolvem+o+projeto+de+uma+casa+construida+com+papelao.aspx>

4. SBT. **Casa é construída em 4 dias e custa R\$30 mil.** In: Jornal do SBT – Noite (telejornal). Disponível em: www.sbt.com.br, em 16 mar 2011.

The screenshot shows the SBT website interface. At the top, there's a blue header with the SBT logo and the word "JORNALISMO". Below this, a navigation bar lists various SBT programs: "Jornal do SBT", "SBT Brasil", "SBT Manhã", "SBT Repórter", "Conexão Repórter", "Aventura Selvagem", and "SBT". A search bar with the text "Procurar" and a dropdown menu for "Todas as notícias" are also present. The date "sábado, 26 de março de 2011" is displayed on the right. The main content area features a video player showing a house built from corrugated metal. The headline reads "Casa é construída em 4 dias e custa R\$30 mil" with a sub-headline "publicado em 16/3/2011 às 09:51". Below the video, a caption states: "Essa é uma das alternativas que podem ajudar o país a enfrentar o déficit habitacional de cerca de 6 milhões de moradias." To the right of the video player, there's a sidebar with social media sharing options (Facebook, Twitter, etc.) and a list of "últimas notícias" (latest news) from SBT Brasil, including topics like "Estudo revela que sexo sem preparo físico pode fazer mal à saúde", "Bebê é internado após apanhar do padrasto", "Pacientes fazem exame por conta própria e descobrem doença", and "Pesquisa descobre gene que influencia o nascimento de gêmeos". At the bottom of the page, there's a row of icons for "Envie", "Compartilhe", "Favoritos", "RSS", "Imprimir", and "Comunique Erro".

<http://www.sbt.com.br/jornalismo/noticias/?c=4126&t=Casa>

5. TV RECORD. **Casa de papelão.** In: Jornal SP Record (telejornal). Disponível em: www.recordribeiraopreto.com.br, em 20 dez 2010.

NOTÍCIAS ENTRETENIMENTO ESPORTES VÍDEOS REDE RECORD

FRANCA RIBEIRÃO PRETO SÃO CARLOS

BALANÇO GERAL

ESPORTE RECORD

SP RECORD

FELIZ NATAL E PRÓSPERO 2011

programas O que você busca? canais @recordribeirao Fale com a Record

DIRETO DA REDAÇÃO | BALANÇO GERAL | ESPORTE RECORD | SP RECORD JORNALISMO | EMPREGOS | PORTAL DE VOZ | PREVISÃO DO TEMPO |

Página Inicial **SP RECORD** |Capa SP Record| Fale Conosco | compartilhe

Notícias

Direto da Redação

Balanço Geral

Esporte Record

SP Record

Visita na Record

Canais

Empregos

Eventos Record

Jornalismo

Portal de Voz

Institucional

Pesquisa de Sinal

Comercial

Trabalhe Conosco

Cobertura Record

Programação

Links Record

R7.com

Record News

Rede Record

Casa de papelão

publicado em 20/12/2010

É a casa feita de papelão. Acredita, é isso mesmo. A novidade ainda está em teste na universidade. Mas a Usp é pioneira no país neste tipo de estudo. O Projeto atrai atenção de muitos curiosos.

Assista ao Video

contato indique imprimir

DIRETO DA REDAÇÃO INTERIOR | BALANÇO GERAL | ESPORTE RECORD | SP RECORD | FUTSAL | EMPREGOS | PORTAL DE VOZ | PREVISÃO DO TEMPO

| comunique erros | área de cobertura | eventos Record | Como está o sinal na sua cidade? | Nova Sede TV Record Ribeirão Preto

© 2010 - todos os direitos reservados - TV Record de Franca S/A

http://www.recordribeiraopreto.com.br/novo/sprecord/noticias_videos.asp?id=6330

6. TV BRASIL. **Abrigos de baixo custo podem ajudar em desastres.** In: Jornal Repórter Brasil (telejornal). Disponível em: www.tvbrasil.ebc.com.br, em 16 fev 2011.

Empresa Brasil de Comunicação

busca avançada

[Sobre o Repórter Brasil](#) | [Equipe](#)

Para maior usabilidade desse site, [atualize aqui](#) seu navegador.

Abrigos de baixo custo podem ajudar em desastres

NUVEM DE ASSUNTOS

[Ciência e Tecnologia](#)
[Habitação](#)

DESCRIÇÃO VIDEO

Um projeto de abrigo de baixo custo pode chegar ao mercado da construção civil em de 2 anos. A pesquisa, em andamento na Universidade de São Carlos (SP), pode ser mais uma alternativa para abrigar vítimas de enchentes.

PUBLICADO EM

16/02/11 22:00

PUBLIQUE NO SEU SITE

`<object width="100%" height="100%" id=" 6401257`

[Realizar Download do Arquivo de Video](#)

COMENTAR

nome:

email:

comentário:

ENVIAR

COMPARTILHE!

<http://tvbrasil.ebc.com.br/reporterbrasil/video/13477/>

Sites

7. O GLOBO. Casa feita com tubos de papelão, em fase de estudos, pode ser alternativa na construção civil. In: Jornal O Globo (site). Disponível em: www.oglobo.globo.com, em 15 jan 2011.

O GLOBO ECONOMIA

 Edição digital No celular No e-mail

CAPA PLANTÃO MEU GLOBO BLOGS COLUNISTAS EU-REPÓRTER OPINIÃO MULTIMÍDIA GUIAS E SERVIÇOS O GLOBO SHOPPING EXTRA ONLINE AGÊNCIA O GLOBO

 PAÍS RIO CIDADES ECONOMIA MUNDO CIÊNCIA ESPORTES CULTURA RIOSHOW EDUCAÇÃO SAÚDE TECNOLOGIA VIAGEM O LIVREIRO CLASSIFICADOS ZAP

Publicada em 15/01/2011 às 09h22m
 Cadastre-se | Login

MORAR BEM

DÚVIDAS SOBRE CONDOMÍNIO

- O Secovi Rio esclareceu as questões dos leitores sobre regras de condomínio. Clique aqui e veja todas as respostas.

AJUDE A FAZER O SITE!

- Mande sua sugestão

Casa feita com tubos de papelão, em fase de estudos, pode ser alternativa na construção civil

O Globo

★★★★★ DÊ SEU VOTO ★★★★★ MÉDIA: 2,9

68 30

Cadastre-se para ver o que seus amigos recomendam.

Clique para ampliar

RIO - O uso da garrafa PET na construção civil já é conhecido. Mas quem já ouviu falar em residências feitas com tubos de papelão? A arquiteta Gerusa Salado está desenvolvendo um estudo na Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo (EESC-USP), sobre o uso da celulose como elemento estrutural das edificações. E garante que o material pode ser utilizado em empreendimentos terrestres. A pesquisa, que já vem sendo desenvolvida no Japão, é, segundo ela, inédita no Brasil.

A eficácia do uso do papelão na construção já foi testada com uma célula-teste de 27 metros cúbicos, feita com tubos de papelão. Em uma de suas paredes, há uma janela. Na outra, uma porta. Gerusa explica que as outras duas paredes são "paredes cegas", ou seja, sem qualquer tipo de abertura. De acordo com Gerusa, a estrutura se mostrou resistente às fortes chuvas ocorridas em São Paulo.

- Esta construção experimental está exposta há 70 dias e, diante das tempestades que aconteceram recentemente aqui no interior de São Paulo, podemos afirmar que ela se mostrou bastante eficaz. No entanto, diante dos desastres que aconteceram no Rio, essa estrutura não oferece ainda a garantia de resistência, uma vez que nem o concreto armado ofereceu. - argumenta.

Entre as vantagens do papelão, está, além da garantia de sustentabilidade ao empreendimento, o fato de o material dispensar fundações profundas graças à sua baixa densidade. De acordo com a pesquisadora, o processo de construção é fácil e rápido e, por isso, dispensa mão de obra especializada.

- O papelão é um material fácil de ser encontrado no Brasil e, por ter a capacidade de ser reciclado várias vezes, não precisa de um grande processo de transformação para a reciclagem. Basta triturá-lo e misturar com água. Como optamos pelo uso de tubos, que são mais resistentes do que as chapas, a instalação dos sistemas hidráulico e elétrico também se torna mais fácil, não havendo a necessidade de quebra-quebra de paredes - explica.

O projeto, entretanto, ainda não passou pelos testes de conforto ambiental. Em relação ao fogo, ela alerta que o material ainda precisa ser avaliado em relação ao tempo que o papelão pode levar para ser incinerado e se o fogo pode se extinguir sozinho. Os testes são realizados em laboratório e seguem normas técnicas nacionais e/ou internacionais.

- Sabemos que todos os materiais de construção são passíveis ao fogo, mas neste caso, precisamos averiguar se o tempo de propagação de um incêndio acidental possibilita que os usuários desocupem a edificação - diz Gerusa.

O intuito das investigações, segundo Gerusa, é que a estrutura possa vir a ser utilizada na construção como uma alternativa à alvenaria. A pesquisadora toma como base para sua pesquisa sobre a estrutura de papelão, já utilizada em sua tese de mestrado, os trabalhos do arquiteto japonês Shigeru Ban, responsável pelo projeto do Pavilhão Japonês na Feira Internacional de Hannover (Alemanha) no ano de 2000, que tinha 3,1 mil m² e uma estrutura constituída de uma casca gigantesca de formato irregular e orgânico, feita a partir de uma trama de tubos de papelão.

O GLOBO SHOPPING

DVD Player Amvo...
Compra Fácil...
5 x R\$19,98

Pesquisar por:

Mais notícias

FOTOGALERIA
Designers se inspiram na 'op art' para criar produtos para a casa

DE OLHO NA TELINHA
'Property Virgins', série que estreia no Brasil, dá dicas para quem está querendo comprar o primeiro imóvel

FOTOGALERIA
Balas, bombons e chocolates inspiram designers na criação de peças divertidas

NOTÍCIAS

INFOGRÁFICOS

SEGURANÇA NO CONDOMÍNIO
Teste o esquema de segurança de um condomínio

PARTICIPE

Você conhece alguma construção no Brasil com arquitetura bem diferente? Conte aqui

Dê sua opinião 22
Outras opiniões 22

No seu prédio, o porteiro sempre avisa a chegada dos visitantes?

Sim
Não

Resultado 22
Pesquisa anterior 22

<http://oglobo.globo.com/economia/morarbem/mat/2011/01/14/casa-feita-com-tubos-de-papelao-em-fase-de-estudos-pode-ser-alternativa-na-construcao-civil-923505062.asp>

8. TERRA. Papelão é alternativa rápida e limpa na construção civil.

In: Terra, Mercado Ético (site, sessão). Disponível em: www.mercadoetico.terra.com.br, em 23 dez 2010.

Mercado Ético
sua plataforma global para sustentabilidade

MERCADO ÉTICO RECOMENDA

SESI Modelo SESI de Sustentabilidade no Trabalho

Clique aqui

CLIQUE AQUI E RECEBA A NOSSA NEWSLETTER

MEIO AMBIENTE E CLIMA ECONOMIA ENERGIA SOCIEDADE VOCÊ SUSTENTÁVEL COLUNISTAS TV MERCADO ÉTICO BLOGS

EDUCAÇÃO E SUSTENTABILIDADE NEGÓCIOS SUSTENTÁVEIS ÉTICA E TRABALHO JUVENTUDE E NOVAS LIDERANÇAS GLOBAL FORUM SUSTENTABILIDADE DE A A Z

CLIQUE AQUI E RECEBA A NOSSA NEWSLETTER

Busca **Busca Avançada** **RSS** > Quem Somos > O que é o Mercado Ético

NOTÍCIAS RELACIONADAS

24/02/2011 - Parque de Tecnologia Social implantará cooperativa de crédito

11/02/2011 - Quanto cabe de informação no mundo?

31/01/2011 - Titânio: o aborto do conhecimento

19/01/2011 - Al Gore, Bernes-Lee e Marina sugerem o uso da internet como instrumento de transparência

18/01/2011 - "A crise capitalista também é de urbanização"

11/01/2011 - Cresce interesse brasileiro por ciência

ÚLTIMAS NOTÍCIAS

PARÁ 25/03 Cameron e Schwarzenegger visitam região que será afetada pela hidrelétrica de Belo Monte

CÓDIGO FLORESTAL 25/03 Rebelo sinaliza possíveis alterações em seu substitutivo

VIOLÊNCIA DOMÉSTICA 25/03 STF declara constitucionalidade do artigo 41 da Lei Maria da Penha

PRESERVAÇÃO 25/03 Governo paraense lança pacote de benefícios para comprometidos com desmatamento zero

ABRAHAM COLQUE 25/03 "O indígena não é coisa do passado, ele é um projeto de futuro"

REPAGINANDO 25/03 Muito Prazer, Caro Cidadão!...ou Caro Consumidor???

TAGS

Estados Unidos educação biodiversidade crise econômica energia renovável energia ONU Sustentabilidade desmatamento aquecimento global Brasil crise financeira meio ambiente Amazônia

mudanças climáticas

Encontre-nos no Facebook **facebook**

www.mercadoetico.com.br

608 pessoas curtiram www.mercadoetico.com.br

Plug-in social do Facebook

NOTÍCIAS

23/12/2010 13:17:21

Papelão é alternativa rápida e limpa na construção civil

Sandra O. Monteiro, da Agência USP (sandra.monteiro@usp.br)

O método promove a reutilização e evita novas extrações de matérias-primas. O uso do papelão na construção civil pode representar uma alternativa que proporcione mais rapidez na obra, e com um processo mais leve e salubre. Pesquisas com a utilização do produto estão sendo realizadas no Departamento de Arquitetura e Urbanismo da Escola de Engenharia de São Carlos (EESC) da USP. De acordo com a arquiteta e doutoranda da EESC, Gerusa Salado, estudos com o material já vem sendo desenvolvidos no Japão. "No Brasil esse tipo de pesquisa ainda é inédita", afirma.

A escolha do material levou em conta critérios como reciclagem e produção de celulose e papelão, uma matéria-prima abundante no Brasil. "O papelão, além do fato de poder ser reciclado várias vezes, não precisa de um grande processo de transformação para a reciclagem. Basta triturá-lo e misturar com água", descreve Gerusa.

Para testar a eficácia do uso do papelão na construção, os pesquisadores construíram uma célula-teste. Esta "construção experimental", como foi denominada, possui o formato de um cubo medindo cerca de 3x3x3 metros (m), equivalente a um volume de 27 metros cúbicos (m³). Em uma de suas paredes há uma janela. Na outra, uma porta. Gerusa explica que as outras duas paredes são "paredes cegas", ou seja, sem qualquer tipo de abertura. Inicialmente, a pesquisadora desenvolveu na célula-teste as vedações, que são o objeto principal de sua pesquisa.

No seu trabalho de doutorado, Gerusa conseguiu construir uma parede de 1 m linear, com tubos de 10 cm de diâmetro, sem resina ou impermeabilizantes. A estrutura, segundo ela, resistiu até 5,0 toneladas. Utilizando a resina impermeabilizante, a mesma estrutura teve sua resistência aumentada, suportando até 6,0 toneladas. Esta mesma resina, também, torna o material resistente às chuvas e à umidade. "Nossa construção experimental (célula-teste) tem resistido a todas as fortes chuvas desses últimos tempos", conta a pesquisadora.

Em relação ao fogo, ela alerta que o material ainda precisa ser avaliado em relação ao tempo que o papelão pode levar para ser incinerado e se o fogo pode se extinguir sozinho, os testes são realizados em laboratório e seguem normas técnicas nacionais e/ou internacionais. "Sabemos que todos os materiais de construção são passíveis ao fogo, mas neste caso, precisamos averiguar se o tempo de propagação de um incêndio acidental possibilita que os usuários desocupem a edificação", diz Gerusa.

O estudos realizados já têm dado frutos, segundo a pesquisadora. "Já é certeza que a estrutura poderá ser aplicada em edificações térreas". O intuito das investigações, segundo Gerusa, é que a estrutura possa vir a ser utilizada para habitações ou não, além de outros tipos de construções como edifícios, como uma possibilidade de substituição de materiais de alvenaria.

Vantagens

Entre as principais vantagens na utilização do papelão na construção civil, Gerusa destaca o uso de uma fundação apenas superficial e não subterrânea, pois a construção é leve. A construção de imóveis com este material é bem mais rápida do que os métodos convencionais porque é feita num sistema construtivo pré-fabricado. "Além disso, os tubos de papelão são ocos, facilitando a instalação dos sistemas hidráulicos e elétricos, não havendo necessidade de quebrar paredes. Todo o processo é limpo e salubre podendo ser desmontado e remontado a qualquer tempo", garante a pesquisadora.

O custo de uma parede de papelão em relação à de alvenaria convencional por enquanto é proporcional, mas Gerusa lembra de alguns fatores que podem torná-lo um potencial material concorrente à alvenaria, como impostos adequados a construção civil, produção não só dos tubos, mas também de módulos pré-fabricados em larga escala.

A pesquisa de doutorado é orientada pelo professor Eduvaldo Paulo Sichieri e financiada pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Fapesp).

Mais informações:

(16) 3373-9653 e (16) 3373-9653
ou email gesalado@sc.usp.br

(Agência USP)

Mais Mercado Ético

NADA DÁ MAIS MEDO DO QUE ESTAR DESATUALIZADO.

Indes
Co-realização
INSTITUTO PARA O DESENVOLVIMENTO SOCIOCULTURAL E AMBIENTAL

A Família pode fazer

- Verificar vazamentos
- Usar lâmpadas econômicas
- Utilizar sacolas retornáveis
- Aproveitar bem os alimentos
- Produzir menos lixo

1 pessoa = 1 kg de lixo por dia

Comida na medida certa = POUCO desperdício

<http://mercadoetico.terra.com.br/arquivo/papelao-e-alternativa-rapida-e-limpa-na-construcao-civil/>

9. PINI. Casa com estrutura de papelão passa por ensaios. In: Piniweb (site). Disponível em: www.piniweb.com.br, em 28 dez 2010.

[NOTICÁRIO](#) [REVISTAS](#) [TCPO](#) [LIVROS](#) [SOFTWARE](#) [EVENTOS](#) [PINI ENGENHARIA](#) [GUIA DA CONSTRUÇÃO](#) [PINI EMPREGOS](#) [LOJA PINI](#)

[Tecnologia e Materiais](#) | [Custos](#) | [Exercício Profissional e Entidades](#) | [Mercado Imobiliário](#) | [Gestão](#) | [Arquitetura](#) | [Urbanismo](#) | [Sustentabilidade](#) | [Habitação](#) | [Infraestrutura](#) | [Legislação](#)

Tecnologia & Materiais < Home

28/Dezembro/2010

Casa com estrutura de papelão passa por ensaios

Resistência e impermeabilização estão sendo testadas em construção experimental

Maurício Lima

Casa ainda ficará por aproximadamente dois anos em fase de teste

A arquiteta e tecnóloga em construção civil Gerusa Salado está desenvolvendo uma pesquisa sobre a possibilidade de utilização de papelão como elemento estrutural em edificações. Segundo a pesquisadora, o estudo é inédito no Brasil, mas o sistema já vem sendo utilizado no Japão.

Para sua tese de doutorado pelo Departamento de Arquitetura e Urbanismo da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo (EESC-USP), Gerusa está desenvolvendo uma pesquisa sobre as vedações para esse sistema construtivo.

A principal vantagem do papelão é que ele é proveniente da reciclagem e pode ser novamente reciclado, garantindo a sustentabilidade do projeto. Além disso, o sistema construtivo dispensa fundações profundas, devido ao baixo peso da estrutura, tendo somente o pré-requisito de uma cobertura leve, pois o sistema estrutural não aguentaria uma cobertura feita de materiais pesados. O processo de construção é mais rápido e dispensa mão de obra especializada, por ser muito fácil. "Além disso, os tubos de papelão são ocos, facilitando a instalação dos sistemas hidráulico e elétrico, não havendo necessidade de quebrar paredes. Todo o processo é limpo e saudável podendo ser desmontado e remontado a qualquer tempo", diz Gerusa.

Uma célula célula-teste foi construída em formato de cubo medindo 27 m³, com uma estrutura toda feita de tubos de papelão. Em uma das paredes há uma janela. Na outra, uma porta. As outras duas paredes são "paredes cegas", sem qualquer tipo de abertura. O principal fator a ser testado é a resistência da estrutura a chuvas e ao vento, além da impermeabilização. Para isso, foram utilizadas duas resinas impermeabilizantes nos tubos, que têm 10 cm de diâmetro. "Nossa construção experimental tem resistido às fortes chuvas desses últimos tempos", conta a pesquisadora.

Em seu trabalho de doutorado, Gerusa construiu uma parede de 1 m de comprimento sem resina ou impermeabilizantes. A estrutura, segundo ela, resistiu até 5 t. Utilizando a resina impermeabilizante, a mesma estrutura teve sua resistência aumentada, suportando até 6 t.

O material ainda precisa ser avaliado em relação ao fogo, considerando o tempo que o papelão pode levar para ser incinerado e se o fogo pode se extinguir sozinho. Para isso, estão sendo realizados testes em laboratórios. "Sabemos que todos os materiais de construção são passíveis ao fogo, mas neste caso, precisamos averiguar se o tempo de propagação de um incêndio acidental possibilita que os usuários desocupem a edificação", diz Gerusa.

O intuito das investigações, segundo Gerusa, é saber se a estrutura pode ser utilizada para habitações ou não, além de outros tipos de construções como edifícios, como uma possibilidade de substituição de materiais de alvenaria.

A pesquisadora toma como base para sua pesquisa sobre a estrutura de papelão, já utilizada em sua tese de mestrado, os trabalhos do arquiteto japonês Shigeru Ban, responsável pelo projeto do Pavilhão Japonês na Feira Internacional de Hannover (Alemanha) no ano de 2000, que tinha 3,1 mil m² e uma estrutura constituída de uma casca gigantesca de formato irregular e orgânico, feita a partir de uma trama de tubos de papelão.

Estrutura do Pavilhão Japonês na Feira Internacional de Hannover (Alemanha) em 2000

Estrutura é formada por tubos de papelão

RELACIONADOS

matéria

PINIweb :: 17/03/11

♦ PINIweb acompanha visita de um arquiteto à Feicon

PINIweb :: 18/03/11

♦ Coordenadora de Programas Setoriais de Qualidade da Tesis avalia produtos sustentáveis da Feicon

PINIweb :: 24/03/11

♦ Concurso Falcão Bauer de Inovação Tecnológica está com inscrições abertas

PINIweb :: 25/03/11

♦ Arquiteto Bjarke Ingels vem ao Brasil para palestras sobre sustentabilidade

ARTIGOS + LIDOS

PINIweb :: 02/03/11

♦ Torre de TV em Tóquio alcança 601 m de altura e se torna a maior do mundo

PINIweb :: 21/12/08

♦ Versão 5.0 do Strato

PINIweb :: 04/03/11

♦ Campus do City of Westminster College conta com espaços internos flexíveis

PINIweb :: 03/03/11

♦ IPT abre vagas para estagiários de engenharia civil em São Paulo

PINIempregos

Sua carreira em construção

♦ Construtora contrata técnico em engenharia civil com experiência em planejamento de empreendimentos residenciais, São Paulo - SP.

♦ Construtora contrata engenheiro civil com experiência em obras de edifícios comerciais e residenciais de alto padrão, Curitiba - PR.

♦ Empresa contrata engenheiro civil de planejamento com pós-graduação, Belo Horizonte - MG.

♦ Empresa contrata engenheiro civil sênior II para área de projetos, Belo Horizonte - BH.

♦ PDCA Engenharia contrata engenheiro civil para gerente de planejamento e controle de obras, Uberlândia - MG.

♦ Empresa contrata arquiteto trainee com experiência em acompanhamento de obras comerciais, São Paulo - SP.

♦ Recrutadora seleciona engenheiro civil para coordenação, com experiência em orçamento e custo, Campinas - SP.

LojaPINI

Comprar... OK

livros

softwares

vendidos

Fichas de Materiais e Serviços - Portas, Forros e Telhados

R\$99,00 em 2x R\$49,50

COMPRAR

VER MAIS

Avaliação em Massa de Imóveis Urbanos - para cálculo de IPTU e ITBI

R\$73,00

COMPRAR

VER MAIS

<http://www.piniweb.com.br/construcao/tecnologia-materiais/casa-com-estrutura-de-papelao-passa-por-ensaios-205720-1.asp>

SALADO, Gerusa de Cássia (2011) 267

10. AGÊNCIA USP DE NOTÍCIAS. **Papelão é alternativa rápida e limpa na construção civil.** In: Agência USP de Notícias (site). Disponível em: www.usp.br, em 23 dez 2010.

AGÊNCIA USP DE NOTÍCIAS
 São Paulo, 26 de março de 2011

USP Hoje » **Tusp dá início ao programa Teatro no Cinema nessa segunda**

Procurar...

Editorias
 Ciências
 Cultura
 Educação
 Especiais
 Esporte e Lazer
 Institucional
 Meio ambiente
 Saúde
 Sociedade
 Tecnologia
 Vídeos

Cursos e palestras
 ▪ Mulher brasileira
 ▪ Sistemas coloidais
 ▪ Física na ciência da vida

Agenda Cultural
 ▪ Fausto in Progress
 ▪ Ricardo III
 ▪ Cultura Japonesa traz filmes de Sokurov

Publicações
 ▪ Clínica psiquiátrica
 ▪ Socioeconomia e ciência animal
 ▪ Ensiando a canção

Quadro de Avisos
 ▪ Resultados do setor sucroenergético
 ▪ Auxiliar odontológico e administrativo
 ▪ Microsoft-Fapesp seleciona projeto do IME

Papelão é alternativa rápida e limpa na construção civil

Por **Sandra O. Monteiro** - sandra.monteiro@usp.br
 1 Publicado em 23/dezembro/2010 | D Editoria : **Tecnologia** | [Imprimir](#)

O uso do papelão na construção civil pode representar uma alternativa que proporcione mais rapidez na obra, e com um processo mais leve e salubre. Pesquisas com a utilização do produto estão sendo realizadas no Departamento de Arquitetura e Urbanismo da Escola de Engenharia de São Carlos (EESC) da USP. De acordo com a arquiteta e doutoranda da EESC, Gerusa Salado, estudos com o material já vem sendo desenvolvidos no Japão. "No Brasil esse tipo de pesquisa ainda é inédita", afirma.

O método promove a reutilização e evita novas extrações de matérias-primas

A escolha do material levou em conta critérios como reciclagem e produção de celulose e papelão, uma matéria-prima abundante no Brasil. "O papelão, além do fato de poder ser reciclado várias vezes, não precisa de um grande processo de transformação para a reciclagem. Basta triturá-lo e misturar com água", descreve Gerusa.

Para testar a eficácia do uso do papelão na construção, os pesquisadores construíram uma célula-teste. Esta "construção experimental", como foi denominada, possui o formato de um cubo medindo cerca de 3x3x3 metros (m), equivalente a um volume de 27 metros cúbicos (m³). Em uma de suas paredes há uma janela. Na outra, uma porta. Gerusa explica que as outras duas paredes são "paredes cegas", ou seja, sem qualquer tipo de abertura. Inicialmente, a pesquisadora desenvolveu na célula-teste as vedações, que são o objeto principal de sua pesquisa.

No seu trabalho de doutorado, Gerusa conseguiu construir uma parede de 1 m linear, com tubos de 10 cm de diâmetro, sem resina ou impermeabilizantes. A estrutura, segundo ela, resistiu até 5,0 toneladas. Utilizando a resina impermeabilizante, a mesma estrutura teve sua resistência aumentada, suportando até 6,0 toneladas. Esta mesma resina, também, torna o material resistente às chuvas e à umidade. "Nossa construção experimental (célula-teste) tem resistido a todas as fortes chuvas desses últimos tempos", conta a pesquisadora.

Em relação ao fogo, ela alerta que o material ainda precisa ser avaliado em relação ao tempo que o papelão pode levar para ser incinerado e se o fogo pode se extinguir sozinho, os testes são realizados em laboratório e seguem normas técnicas nacionais e/ou internacionais. "Sabemos que todos os materiais de construção são passíveis ao fogo, mas neste caso, precisamos averiguar se o tempo de propagação de um incêndio acidental possibilita que os usuários desocupem a edificação", diz Gerusa.

O estudos realizados já têm dado frutos, segundo a pesquisadora. "Já é certeza que a estrutura poderá ser aplicada em edificações térreas". O intuito das investigações, segundo Gerusa, é que a estrutura possa vir a ser utilizada para habitações ou não, além de outros tipos de construções como edifícios, como uma possibilidade de substituição de materiais de alvenaria.

Vantagens
 Entre as principais vantagens na utilização do papelão na construção civil, Gerusa destaca o uso de uma fundação apenas superficial e não subterrânea, pois a construção é leve. A construção de imóveis com este material é bem mais rápida do que os métodos convencionais porque é feita num sistema construtivo pré-fabricado. "Além disso, os tubos de papelão são ocos, facilitando a instalação dos sistemas hidráulicos e elétricos, não havendo necessidade de quebrar paredes. Todo o processo é limpo e salubre podendo ser desmontado e remontado a qualquer tempo", garante a pesquisadora.

O custo de uma parede de papelão em relação à de alvenaria convencional por enquanto é proporcional, mas Gerusa lembra de alguns fatores que podem torná-lo um potencial material concorrente à alvenaria, como impostos adequados a construção civil, produção não só dos tubos, mas também de módulos pré-fabricados em larga escala.

A pesquisa de doutorado é orientada pelo professor Eduvaldo Paulo Sichieri e financiada pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Fapesp).

Mais informações: (16) 3373-9653 ou email gesalado@sc.usp.br

AGÊNCIA USP DE NOTÍCIAS
 Siga no **twitter**
 Leia no **facebook**
Newsletters
 Inscreva-se para receber nossa newsletter
 Nome:
 Sobrenome:
 Empresa:
 Email:

Vídeos
 ▪ Turismo impulsionado por novela não afeta cultura pantaneira

 Pesquisa da FFLCH revela como o pantaneiro recebeu o ecoturismo como nova atividade econômica
Defesas
 ▪ Teses e dissertações em 28 de março
 ▪ Teses e dissertações em 25 de março
 ▪ Teses e dissertações em 24 de março

<http://www.usp.br/agen/?p=45272>

11. INOVAÇÃO TECNOLÓGICA. **Papelão é alternativa rápida e limpa na construção civil.** In: Inovação Tecnológica (site). Disponível em: www.inovacaotecnologica.com.br, em 29 dez 2010.

Tudo o que acontece na fronteira do conhecimento

Principal Eletrônica Energia Espaço Informática Materiais Mecânica Meio ambiente Nanotecnologia Robótica Plantão

Anúncios Google

Microsoft Windows Azure
Confira o Novo Sistema Operacional Da Microsoft Disponível na Nuvem.
Microsoft.com/WindowsAzure

Cinema: 70% de Desconto
Em 5 Seg Você se Cadastra Grátis e Recebe Ofertas como Essa Todo Dia!
PeixeUrbano.com.br/Cadastre...

Ofertas em São Carlos
Receba um incrível Cupom por dia. Até 70% de desconto. Confira!
www.GROUPON.com.br/Ofertas

POP Proteção Total
Conheça os Serviços de Proteção Total Exclusivos do POP. Confira!
www.ProtecaoTotal.POP.com...

Assine SKY - HDTV é Isso
Se você pode ter SKY vai ter outra TV por quê? menos de R\$1,70/dia.
www.SKY.com.br

Ads by Google
[Energia Verde](#)
[Buraco](#)
[Terra Da Linguica](#)
[Movimento Terra](#)

Meio ambiente

Papelão é alternativa rápida e limpa na construção civil

Com informações da Agência USP - 29/12/2010

O uso do papelão na construção civil pode representar uma alternativa que proporciona mais rapidez na obra, e com um processo mais leve e salubre.

Se não diretamente para moradias, o material oferece uma solução rápida e segura para construções de apoio nos canteiros de obras, pequenos depósitos e outros "puxadinhos".

Reciclagem fácil

A utilidade e a segurança do papelão para a construção civil estão sendo demonstradas por pesquisas que estão sendo realizadas no Departamento de Arquitetura e Urbanismo da Escola de Engenharia de São Carlos (EESC), da USP.

De acordo com a pesquisadora Gerusa Salado, os estudos com o papelão já vêm sendo desenvolvidos no Japão. "No Brasil, esse tipo de pesquisa ainda é inédito," afirma.

A escolha do papelão levou em conta critérios como reciclagem e produção de celulose e do próprio papelão, matérias-primas abundantes no Brasil.

"O papelão, além do fato de poder ser reciclado várias vezes, não precisa de um grande processo de transformação para a reciclagem. Basta triturá-lo e misturar com água", descreve Gerusa.

Construção experimental

Para testar a eficácia do uso do papelão na construção civil, os pesquisadores construíram uma célula-teste.

Esta "construção experimental", como foi denominada, possui o formato de um cubo medindo cerca de 3x3x3 metros (m), equivalente a um volume de 27 metros cúbicos (m³). Em uma de suas paredes há uma janela. Na outra, uma porta.

Gerusa explica que as outras duas paredes são "paredes cegas", ou seja, sem qualquer tipo de abertura. Inicialmente, a pesquisadora desenvolveu na célula-teste as vedações, que são o objeto principal da sua pesquisa.

Gerusa conseguiu construir uma parede de 1 m linear, com tubos de 10 cm de diâmetro, sem resina ou impermeabilizantes.

A estrutura, segundo ela, resistiu até 5,0 toneladas. Utilizando a resina impermeabilizante, a mesma estrutura teve sua resistência aumentada, suportando até 6,0 toneladas.

Esta mesma resina também torna o material resistente às chuvas e à umidade. "Nossa construção experimental tem resistido a todas as fortes chuvas desses últimos tempos", conta a pesquisadora.

Em relação ao fogo, ela alerta que o material ainda precisa ser avaliado em relação ao tempo que o papelão pode levar para ser incinerado e se o fogo pode se extinguir sozinho - estes testes são realizados em laboratório e seguem normas técnicas nacionais e/ou internacionais. "Sabemos que todos os materiais de construção são suscetíveis ao fogo, mas neste caso, precisamos averiguar se o tempo de propagação de um incêndio acidental possibilita que os usuários desocupem a edificação", diz Gerusa.

Vantagens das construções de papelão

Os estudos realizados já têm dado frutos, segundo a pesquisadora. "Já é certeza que a estrutura poderá ser aplicada em edificações térreas".

O intuito das pesquisas, segundo Gerusa, é que a estrutura possa vir a ser utilizada para habitações ou não, além de outros tipos de construções como edifícios, como uma possibilidade de substituição de materiais de alvenaria.

Entre as principais vantagens na utilização do papelão na construção civil, Gerusa destaca o uso de uma fundação apenas superficial e não subterrânea, pois a construção é leve. A construção de imóveis com este material é bem mais rápida do que os métodos convencionais porque é feita num sistema construtivo pré-fabricado.

"Além disso, os tubos de papelão são ociosos, facilitando a instalação dos sistemas hidráulicos e elétricos, não havendo necessidade de quebrar paredes. Todo o processo é limpo e salubre podendo ser desmontado e remontado a qualquer tempo", garante a pesquisadora.

O custo de uma parede de papelão em relação à de alvenaria convencional por enquanto é proporcional, mas Gerusa lembra de alguns fatores que podem torná-lo um potencial material concorrente à alvenaria, como impostos adequados a construção civil, produção não só dos tubos, mas também de módulos pré-fabricados em larga escala.

Receba nossas notícias em seu e-mail

Seu nome

Seu e-mail

Assine nosso Feed RSS

Siga-nos no twitter

Notícias relacionadas

Qualidade na construção pode reduzir custo e prazo

Vidro funde-se próximo ao zero absoluto

USP e MIT levam inovação tecnológica para comunidade carente

Casa é construída dentro de laboratório

Criado um vidro mais forte do que o aço

Arca flutuante é autônoma e autossustentável

Mais lidas na semana

Físicos criam antimatéria pesada e se aproximam da antimatéria sólida

Endeavour levará detector de antimatéria ao espaço

NASA apresenta conceito de nave espacial

Fusão nuclear: nó na luz cria campo de força 3D

Sismógrafo amador criado por brasileiro capta terremoto no Japão

moldáveis como plástico

Carro de fibra de carbono é fabricado em menos de um minuto

LHC pode se tornar a primeira máquina do tempo do mundo

Saúde

Comportamento

Viver Bem

Diário da SAÚDE

<http://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=papelao-na-construcao-civil>

Revistas Impressas

- 12.SANTA CRUZ. **No lugar de tijolos, papelão.** In: Santa Cruz. (revista impressa). São Paulo (SP): Quatrocor, ano XIV, nº 152, mar 2011, p. 32-33.

No lugar de tijolos, papelão

Com foco na sustentabilidade, universidade paulista testa material alternativo à alvenaria na construção civil

Sustentabilidade

SantaCruz

32

BENEFÍCIOS

Entre as vantagens do papelão em construções, Gerusa destaca a necessidade de uma função apenas superficial, já que tem de suportar uma estrutura leve, e não subterânea. Também permite economia de tempo em relação aos métodos convencionais, porque o sistema construtivo é pré-fabricado. "Os tubos de papelão são ociosos, o que facilita as instalações hidráulicas e elétricas, e dispensam a quebra de paredes. Todo o processo é limpo e salubre, podendo ser desmontado e remontado a qualquer momento", garante.

Os custos de produção de uma parede de papelão em comparação com os de alvenaria, por exemplo, são equivalentes. Mas Gerusa lembra que alguns fatores podem torná-lo um potencial concorrente dos materiais de praxe, entre eles, impostos adequados à construção civil e produção não só de tubos, mas na arquitetura.

A eficiência e a viabilidade do papelão estão sendo testadas em uma edificação experimental de 9 metros quadrados, totalmente erguida com tubos de papelão, revestidos por uma resina especial. Desde o início dos testes, em outubro de 2010, a estrutura tem se mostrado resistente às fortes chuvas ocorridas no interior de São Paulo.

A pesquisadora Gerusa Salado, idealizadora e responsável pelo projeto de sustentabilidade da Universidade de São Paulo.

também de módulos pré-fabricados em larga escala.

A preferência pelo material pode levar em conta ainda critérios como reciclagem e produção de celulose, matéria-prima abundante no Brasil. "O papelão, além de ter a capacidade de ser reciclado várias vezes, não exige um grande processo de transformação. Basta triturá-lo e misturá-lo com água", informa.

Os estudos realizados com a unidade-teste nos laboratórios da Escola de Engenharia de São Carlos já apresentaram resultados positivos. "É certo que a estrutura pode ser aplicada em edificações térreas. Por exemplo, em depósitos de materiais não inflamáveis", diz. A pesquisa, nesse momento, verifica a viabilidade do papelão como um elemento viável na construção de habitações, de maneira a garantir que uma estrutura desse tipo ofereça às pessoas plenas condições de moradia, com segurança e conforto. ■

SantaCruz

33

13. KAPPA. **Parede de papelão reciclado passa por testes**. In: Kappa Magazine. (revista impressa). São Carlos (SP): PWC, ano 1, edição 17, nº 17, 21 fev 2011, p. 100.

Parede de papelão reciclado passa por testes

O Instituto de Arquitetura de São Carlos realiza, há quatro anos, um projeto que permitirá a inclusão do papelão como material da construção civil. Esse material poderá substituir paredes internas e externas de prédios comerciais e residenciais. Nos testes já realizados, um metro do material suportou até cinco toneladas.

Os testes da nova parede de papelão durarão mais dois anos. O objetivo é que ele substitua outros materiais, como o aço, a madeira e o vidro. Além de ser composto por material reciclado, as paredes também têm a possibilidade de serem desmontadas e, posteriormente, reutilizadas.

Rádio

14. RÁDIO USP. **(Notícia divulgada sem título)**. In: Rádio USP. Disponível em: FM 93,7 MHz, de 04 jan 2011 a 10 jan 2011, horários 8h30, 10h30, 11h30, 15h30, 16h30, 17h30.

Pesquisas sobre a utilização do papelão na construção civil estão sendo realizadas no Departamento de Arquitetura e Urbanismo da Escola de Engenharia de São Carlos da USP, pela arquiteta e doutoranda Gerusa Salado.

Segundo a pesquisadora, a escolha do material levou em conta critérios como a facilidade do processo de reciclagem e a abundância de celulose e papelão no Brasil.

Para seus experimentos, a arquiteta utiliza uma construção experimental de 27 metros cúbicos.

Os estudos já revelaram que a estrutura consegue resistir a 5 toneladas quando suas paredes não possuem resina impermeabilizante e 6 toneladas, com resina.

Entre as principais vantagens na utilização do papelão na construção civil, Gerusa destaca o uso de uma fundação apenas superficial e não subterrânea, o processo limpo e salubre e a facilidade de instalação de sistemas hidráulicos e elétricos, não havendo necessidade de quebrar paredes.

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

Abrelpe – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais

ANAP – Associação Nacional dos Aparistas de Papel

BNH – Banco Nacional da Habitação

Bracelpa – Associação Brasileira dos Produtores de Papel e Celulose

CIB – *International Council for Research and Innovation in Building and Construction*

cm – centímetro

cm² – centímetro quadrado

CO₂ – gás carbônico

CP – corpo de prova

e – espessura

E – módulo de elasticidade

EESC-USP – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo

EUA – Estados Unidos da América

F – força

FAU-USP – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo

f_{ck} – resistência característica

f_c máx – tensão máxima de compressão

f_f máx – tensão máxima de flexão

g – grama

G – peso próprio

GPa – gigaPascal

GFRC – *Glass Fiber Reinforced Concrete*

h – hora

ISO – *International Organization for Standardization*

Kg - kilograma

kgf – kilograma-força

kN – kiloNewton

l – comprimento

m – metro

m² – metro quadrado

MDO – mão de obra

min – minuto

mm – milímetro

MPa – megaPascal

NBR – Norma Brasileira

OSB – *Oriented Strand Board*

P – carga

p. – página

PVA – acetato de polivinila

PVC – Policloreto de vinila

S – área

s – segundo

UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro

UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina

UNHCR – *United Nations High Commissioner for Refugees*

UR – umidade relativa

USP – Universidade de São Paulo

VAN – *Voluntary Architects' Network*

W - watt

Φ_e – diâmetro externo

Φ_i – diâmetro interno

LISTA DE QUADROS

Quadro 4.1 – Aspectos técnicos gerais das residências emergenciais em Kobe	65
Quadro 4.2 – Avaliação dos aspectos técnicos dos painéis de vedação empregados nas residências emergenciais em Kobe.....	66
Quadro 4.3 – Aspectos técnicos gerais das residências emergenciais na Turquia.....	72
Quadro 4.4 – Avaliação dos aspectos técnicos dos painéis de vedação empregados nas residências emergenciais na Turquia.....	73
Quadro 4.5 – Aspectos técnicos gerais das residências emergenciais na Índia..	79
Quadro 4.6 – Avaliação dos aspectos técnicos dos painéis de vedação empregados nas residências emergenciais na Índia.....	80
Quadro 4.7 – Análise de outros fatores referentes aos painéis de vedação vertical de Shigeru Ban.....	83
Quadro 5.1 – Adequações dos aspectos técnicos identificadas nos painéis de vedação vertical empregados por Shigeru Ban.....	86
Quadro 5.2 – Adequações quanto a outros fatores identificadas nos painéis de vedação vertical empregados por Shigeru Ban.....	87
Quadro 5.3 – Deficiências dos aspectos técnicos identificadas nos painéis de vedação vertical empregados por Shigeru Ban.....	87
Quadro 5.4 – Deficiências quanto a outros fatores identificadas nos painéis de vedação vertical empregados por Shigeru Ban.....	88

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 – Resultados dos ensaios técnicos realizados por Shigeru Ban.....	47
Tabela 3.2 – Resultados do ensaio de resistência compressão.....	52
Tabela 3.3 – Resultados do ensaio de resistência à flexão.....	53
Tabela 5.1 – Tempo de execução de vedação vertical externa com impermeabilização, utilizando o sistema construtivo proposto.....	117
Tabela 5.2 – Tempo de execução de vedação vertical interna com impermeabilização, utilizando o sistema construtivo proposto.....	118
Tabela 5.3 – Tempo de execução de vedação vertical externa sem impermeabilização, utilizando o sistema construtivo proposto.....	119
Tabela 5.4 – Tempo de execução de vedação vertical interna sem impermeabilização, utilizando o sistema construtivo proposto.....	119
Tabela 5.5 – Composição de custo direto para o painel de vedação vertical de tubos de papelão.....	120
Tabela 5.6 – Composição de custo direto para a peça de ligação em argamassa armada.....	120
Tabela 5.7 – Composição de custo direto para a execução de 1m ² da vedação vertical externa com aplicação da resina C.....	121
Tabela 5.8 – Composição de custo direto para a execução de 1m ² da vedação vertical externa com aplicação da resina E.....	121
Tabela 5.9 – Composição de custo direto para a execução de 1m ² da vedação vertical interna com aplicação da resina E.....	122
Tabela 5.10 – Composição de custo direto para a execução de 1m ² da vedação vertical externa sem aplicação de resina impermeabilizante.....	122
Tabela 5.11 – Composição de custo direto para a execução de 1m ² da vedação vertical interna sem aplicação de resina impermeabilizante.....	123
Tabela 6.1 - Resultados do ensaio de absorção de umidade com a resina A....	135
Tabela 6.2 - Variação das dimensões dos corpos de prova entre o primeiro e o último dia de ensaio.....	136
Tabela 6.3 - Resultados do ensaio de absorção de umidade sem revestimento	141
Tabela 6.4 - Resultados do ensaio de absorção de umidade com a resina C....	142
Tabela 6.5 - Resultados do ensaio de absorção de umidade com a resina D....	143
Tabela 6.6 - Resultados do ensaio de absorção de umidade com a resina E....	144
Tabela 6.7 – Resultados do ensaio de resistência à compressão em CPs secos e sem resina.....	152
Tabela 6.8 – Resultados do ensaio de resistência à compressão em CPs secos, com resina C.....	152
Tabela 6.9 – Resultados do ensaio de resistência à compressão em CPs úmidos com resina C.....	153

Tabela 6.10 – Resultados do ensaio de resistência à compressão em CPs secos, com resina E.....	153
Tabela 6.11 – Resultados do ensaio de resistência à compressão em CPs úmidos e resina E.....	153
Tabela 6.12 – Resultados do ensaio de resistência à compressão em painéis sem resina.....	161
Tabela 6.13 – Resultados do ensaio de resistência à compressão em painéis com a resina E.....	163
Tabela 6.14 – Dados para realização de ensaio de impacto de corpo mole.....	168
Tabela 6.15 – Resultados do ensaio de impacto de corpo mole em painéis.....	169
Tabela 6.16 – Dados para realização de ensaio de impacto de corpo duro.....	173
Tabela 6.17 – Resultados do ensaio de impacto de corpo duro em painéis.....	174
Tabela 6.18 – Dados meteorológicos de São Carlos (SP).....	178
Tabela 6.19 – Resultados das inspeções na célula-teste após vinte semanas.....	181
Tabela 6.20 – Manchas de umidade na célula-teste após vinte semanas.....	182
Tabela 10.1 – Alvenaria estrutural para paredes externas.....	238
Tabela 10.2 – Alvenaria estrutural para paredes internas.....	239
Tabela 10.3 – Alvenaria de vedação para paredes externas.....	239
Tabela 10.4 – Alvenaria de vedação para paredes internas.....	240
Tabela 10.5 – Chapisco para paredes externas e internas.....	240
Tabela 10.6 – Reboco para paredes externas e internas.....	241
Tabela 10.7 – Emboço para paredes externas.....	241
Tabela 10.8 – Emboço para paredes internas.....	241
Tabela 10.9 – Pintura para paredes externas.....	242
Tabela 10.10 – Pintura para paredes internas.....	242
Tabela 10.11 – Custo total para cada alvenaria.....	243
Tabela 10.12 – Tempo de execução total para cada alvenaria.....	243
Tabela 10.13 – Vedação de gesso acartonado.....	244
Tabela 10.14 – Vedação de placa cimentícia.....	244
Tabela 10.15 – Resultados do ensaio de resistência à compressão em painel-teste sem resina.....	245
Tabela 10.16 – Pesos-próprios de coberturas convencionais.....	247

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 3.1 – Destinos da celulose exportada pelo Brasil.....	28
Gráfico 3.2 – Destinos do papel exportado pelo Brasil.....	29
Gráfico 3.3 – Produção de papel no Brasil por tipos.....	29
Gráfico 6.1 - Resultados do ensaio de absorção de umidade com a resina A...	135
Gráfico 6.2 - Resultados do ensaio de absorção de umidade para o corpo de prova sem revestimento.....	141
Gráfico 6.3 - Resultados do ensaio de absorção de umidade com a resina C – 2 demãos.....	142
Gráfico 6.4 - Resultados do ensaio de absorção de umidade com a resina C – 3 demãos.....	142
Gráfico 6.5 - Resultados do ensaio de absorção de umidade com a resina D – 2 demãos.....	143
Gráfico 6.6 - Resultados do ensaio de absorção de umidade com a resina D – 3 demãos.....	143
Gráfico 6.7 - Resultados do ensaio de absorção de umidade com a resina E – 2 demãos.....	144
Gráfico 6.8 - Resultados do ensaio de absorção de umidade com a resina E – 3 demãos.....	144
Gráfico 6.9 – Ensaio de resistência à compressão em CPs secos e sem resina....	154
Gráfico 6.10 – Ensaio de resistência à compressão em CPs secos e com resina C.....	154
Gráfico 6.11 – Ensaio de resistência à compressão em CPs úmidos e com resina C.....	154
Gráfico 6.12 – Ensaio de resistência à compressão em CPs secos e com resina E.....	155
Gráfico 6.13 – Ensaio de resistência à compressão em CPs úmidos e com resina E.....	155
Gráfico 6.14 – Flecha gerada em ensaio de resistência à compressão em painéis sem resina.....	162
Gráfico 6.15 – Encurtamento gerado em ensaio de resistência à compressão em painéis sem resina.....	162
Gráfico 6.16 – Flecha gerada em ensaio de resistência à compressão simples em painéis com resina E.....	163
Gráfico 6.17 – Encurtamento gerado em ensaio de resistência à compressão simples em painéis com resina E.....	164

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Lixo depositado a céu aberto, em lixão.....	17
Figura 2.2 - Lixo flutuante expelido pelos rios na Baía de Guanabara, Rio de Janeiro (RJ).....	18
Figura 2.3 – Entulho em Santa Isabel (SP), abandonado próximo a Área de Preservação Permanente.....	19
Figura 2.4 – Tijolos produzidos com areia de fundição.....	21
Figura 2.5 – Cinzas pesadas geradas no processo termoelétrico.....	22
Figura 2.6 – Elementos construtivos com adição de cinzas pesadas.....	22
Figura 2.7 – Elementos construtivos produzidos com solo estabilizado.....	23
Figura 2.8 - Vista externa de uma habitação produzida com blocos de solo estabilizado.....	23
Figura 2.9 – Painéis de gesso acartonado.....	25
Figura 2.10 – Painel colméia.....	25
Figura 2.11 – Tipos de colméia para painéis de vedação.....	26
Figura 2.12 – Painéis de tetra pak.....	26
Figuras 3.1 e 3.2 – Mesa Ampulheta e Cadeira Circular.....	31
Figuras 3.3 e 3.4 – Puff Laranja e Banquinhos Biju.....	31
Figura 3.5 – Poltrona Juta-Tudo.....	31
Figuras 3.6 e 3.7 – Estande de feira em tubos de papelão.....	32
Figura 3.8 – Elementos de tubos de papelão em restaurante.....	32
Figura 3.9 – Mobiliário de restaurante em tubos de papelão.....	32
Figuras 3.10 e 3.11 – Móveis de tubos de papelão criados por Nido Campolongo.....	33
Figura 3.12 – Mesa de cones de papelão criada por Nido Campolongo.....	33
Figura 3.13 – Casa do Leitor, de Nido Campolongo – vista 01.....	34
Figura 3.14 – Casa do Leitor, de Nido Campolongo – vista 02.....	34
Figura 3.15 – Vista externa da Oca de papel.....	35
Figura 3.16 – Estrutura auxiliar da Oca de papel.....	35
Figuras 3.17 e 3.18 – Vista interna do Oca de papel.....	36
Figuras 3.19 e 3.20 – Formas de tubos de papelão.....	36
Figuras 3.21 e 3.22 - Tubo de papelão sendo usado para a concretagem de um pilar.....	37
Figuras 3.23 e 3.24 - Tubos de papelão sendo usados para caixão perdido.....	37
Figura 3.25 – Construção da Geodésica de Papel.....	40
Figuras 3.26 e 3.27 – Interior e exterior da Geodésica de Papel.....	41

Figuras 3.28 e 3.29 – Construção do Escritório Temporário.....	41
Figura 3.30 – Vista interna do Escritório Temporário.....	42
Figura 3.31 – Interior do Museu Nômade em Nova York.....	42
Figura 3.32 – Vista externa do Museu Nômade em Nova York.....	43
Figuras 3.33 e 3.34 – Vistas externas do Pavilhão de Papel.....	43
Figuras 3.35 e 3.36 – Vistas do Pavilhão Vasarely.....	44
Figuras 3.37 e 3.38 – Vista do pátio central e Vista noturna do Museu Papertainer.....	45
Figura 3.39 – Interior de sala de aula da Escola Chengdu.....	45
Figura 3.40 – Vista externa da Escola Chengdu.....	46
Figuras 3.41 e 3.42 – Biblioteca de Papel (1991) e Casa de Papel (1995).....	46
Figuras 3.43 e 3.44 - Domus de Papelão (1998) e Pavilhão Japonês (2000).....	47
Figura 3.45 – Ensaio de resistência à compressão para o Pavilhão Japonês.....	47
Figuras 3.46 e 3.47 – Ensaio de resistência à compressão para a Casa de Papel	48
Figura 3.48 – Ensaio de resistência à flexão para a Casa de Papel.....	48
Figura 3.49 – Modelo computacional de estrutura hiperbólica em tubos de papelão.....	49
Figuras 3.50 e 3.51 – Foto da maquete do sistema estrutural e elevação da casa projetada por estudantes da FAU-USP.....	49
Figura 3.52 – Centro Cultural Santana.....	50
Figura 3.53 – Ensaio de absorção de umidade.....	51
Figura 3.54 – Ensaio de flambagem.....	51
Figuras 3.55 – Ensaio de resistência à compressão.....	52
Figura 3.56 – Ensaio de resistência à flexão.....	53
Figura 4.1 – Painel de vedação vertical das residências emergenciais.....	59
Figura 4.2 – Painel de vedação vertical das residências emergenciais – projeto	60
Figuras 4.3 e 4.4 – Construção da estrutura da cobertura da “Log House”.....	60
Figura 4.5 – Sistema de cobertura que permite ventilação.....	61
Figura 4.6 – Perspectiva explodida da “Log House”.....	61
Figura 4.7 – “Log House” construída.....	62
Figuras 4.8 e 4.9 – Vistas externas das residências emergenciais.....	63
Figura 4.10 e 4.11 – Espaço comum entre as residências emergenciais.....	63
Figura 4.12 – Interior de uma residência emergencial.....	64
Figura 4.13 – Vista interna de uma residência emergencial.....	64
Figura 4.14 – Planta baixa das casas construídas na Turquia, detalhando a construção de suas bases.....	67
Figura 4.15 – Elevações transversal e longitudinal das casas construídas na Turquia.....	68
Figura 4.16 – Planta de cobertura das casas construídas na Turquia.....	68
Figura 4.17 – Construção das bases das casas na Turquia.....	68
Figura 4.18 – Painéis de vedação empilhados.....	69

Figura 4.19 – Espuma adesiva usado entre os elementos.....	69
Figura 4.20 – Estrutura da cobertura sendo construída na Turquia.....	70
Figura 4.21 e 4.22 – Comunidade temporária de “Paper Log Houses” na Turquia	70
Figura 4.23 – Ocupação de uma residência na Turquia.....	71
Figura 4.24 – Planta baixa das residências emergenciais na Índia.....	74
Figura 4.25 – Corte das residências emergenciais na Índia.....	75
Figura 4.26 – Detalhes construtivos das residências emergenciais na Índia.....	75
Figura 4.27 – Perspectiva explodida das residências emergenciais na Índia.....	76
Figuras 4.28 e 4.29 – Vistas externas das residências emergenciais na Índia.....	77
Figura 4.30 – Vista interna de uma residência construída na Índia.....	77
Figura 4.31 – Unidade usada como sala de aula na Índia.....	77
Figuras 5.1 e 5.2 – Tubos de papelão armazenados no laboratório.....	97
Figuras 5.3 e 5.4 – Corte e furação de peças para a montagem dos painéis.....	98
Figuras 5.5 e 5.6 – Painel A montado.....	98
Figuras 5.7 e 5.8 – Detalhes do Painel A montado.....	99
Figuras 5.9 e 5.10 – Esquadrias preparadas e Painel C montado.....	99
Figuras 5.11 e 5.12 – Painéis de vedação prontos e furação nas laterais.....	99
Figuras 5.13 e 5.14 – Impermeabilização das bases dos painéis de vedação vertical.....	100
Figuras 5.15 e 5.16 – Forma para a moldagem das peças de ligação 1.....	101
Figuras 5.17 e 5.18 – Forma para a moldagem das peças de ligação 2.....	101
Figuras 5.19 e 5.20 – Preparo da forma e início da moldagem das peças de ligação 1.....	102
Figuras 5.21 e 5.22 – Moldagem de peça de ligação 1.....	102
Figuras 5.23 e 5.24 – Peça de ligação 1.....	102
Figuras 5.25 e 5.26 – Moldagem de peça de ligação 2.....	103
Figuras 5.27 e 5.28 – Moldagem e peça de ligação 2.....	103
Figura 5.29 – Impermeabilização das bases das peças de ligação inferiores.....	103
Figuras 5.30 e 5.31 – Demarcação da área do radier e orientação definida com bússola.....	104
Figuras 5.32 e 5.33 – Conferência dos ângulos retos e marcação do nível do radier.....	104
Figuras 5.34 e 5.35 – Preparo da forma para a concretagem do radier.....	105
Figuras 5.36 e 5.37 – Início da concretagem e colocação da armadura.....	105
Figuras 5.38 e 5.39 – Desempenamento e radier concluído.....	105
Figuras 5.40 e 5.41 – Preparo da cobertura.....	106
Figuras 5.42 e 5.43 – Locação da célula-teste sobre o radier.....	107
Figura 5.44 – Furação do radier.....	107
Figuras 5.45 e 5.46 – Colocação das peças de ligação inferiores.....	107
Figuras 5.47 e 5.48 – Peças de ligação inferiores.....	108
Figura 5.49 – Colocação da massa de calafetação e anéis de borracha.....	108

Figuras 5.50 e 5.51 – Colocação dos primeiros painéis de vedação.....	109
Figuras 5.52 e 5.53 – Colocação dos painéis de vedação e das peças de ligação.....	109
Figuras 5.54 e 5.55 – Colocação dos painéis de vedação concluída.....	109
Figura 5.56 – Encontro entre peças de ligação e painel de vedação.....	110
Figuras 5.57 e 5.58 – Encaixes entre painéis adjacentes.....	110
Figuras 5.59 e 5.60 – Frestas entre as peças de ligação superiores.....	111
Figura 5.61– Dispositivo utilizado para fechar as frestas entre as peças de ligação superiores.....	111
Figuras 5.62 e 5.63 – Início de montagem da estrutura da cobertura.....	112
Figuras 5.64 e 5.65 – Estrutura da cobertura finalizada e fixação das telhas.....	112
Figuras 5.66 e 5.67 – Finalização da cobertura.....	112
Figuras 5.68 e 5.69 – Fixação das peças de ligação superiores na estrutura da cobertura.....	113
Figuras 5.70 e 5.71 – Colocação das folhas de fechamento nas esquadrias, fechamento das empenas e aplicação de resina impermeabilizante.....	113
Figuras 5.72 e 5.73 – Massas de calafetação moldadas.....	114
Figuras 5.74 e 5.75 – Detalhes das ligações inferior e superior.....	114
Figuras 5.76 e 5.77 – Vistas Sudoeste e Noroeste da célula-teste.....	115
Figura 5.78 – Vista Sudeste da célula-teste.....	115
Figura 5.79 – Vista Nordeste da célula-teste.....	115
Figuras 6.1 e 6.2 – Produção dos tubos de papelão.....	131
Figuras 6.3 e 6.4 – Faixas de papel Kraft banhadas nas colas.....	132
Figura 6.5 – Tubos de papelão utilizados nos ensaios técnicos.....	132
Figura 6.6 - Corpos de prova sem e com revestimento, respectivamente, no 3º dia do ensaio.....	136
Figura 6.7 - Corpos de prova sem e com revestimento, respectivamente, no 7º dia do ensaio.....	136
Figura 6.8 - Corpos de prova no 3º dia do ensaio.....	137
Figura 6.9 - Corpos de prova no 7º dia do ensaio.....	137
Figuras 6.10, 6.11 e 6.12 - Corpos de prova revestidos com a resina B.....	138
Figura 6.13 – Corpo de prova sendo revestido.....	140
Figura 6.14 – Corpos de prova acondicionados na câmara úmida.....	140
Figuras 6.15 e 6.16 - Corpos de prova revestidos com 2 demãos da resina C antes e após o ensaio, respectivamente.....	145
Figuras 6.17 e 6.18 - Corpos de prova revestidos com 3 demãos da resina C antes e após o ensaio, respectivamente.....	145
Figuras 6.19 e 6.20 - Corpos de prova revestidos com 2 demãos da resina D antes e após o ensaio, respectivamente.....	145
Figuras 6.21 e 6.22 - Corpos de prova revestidos com 3 demãos da resina D antes e após o ensaio, respectivamente.....	146
Figuras 6.23 e 6.24 - Corpos de prova revestidos com 2 demãos da resina E antes e após o ensaio, respectivamente.....	146

Figuras 6.25 e 6.26 - Corpos de prova revestidos com 3 demãos da resina E antes e após o ensaio, respectivamente.....	146
Figuras 6.27 e 6.28 - Corpo de prova sem revestimento após o ensaio.....	146
Figuras 6.29 a 6.32 - Corpo de prova capeado com a resina B.....	148
Figuras 6.33 a 6.36 - Corpo de prova pintado no topo com a resina B.....	148
Figuras 6.37 a 6.40 - Corpo de prova sem tratamento no topo.....	148
Figura 6.41 – Anel de borracha usado para elevar os tubos de papelão da base.....	149
Figura 6.42 – Anel de borracha e massa de calafetação.....	149
Figuras 6.43 e 6.44 – Corpos de prova durante o ensaio de resistência à compressão.....	152
Figuras 6.45 e 6.46 – Corpos de prova antes e após o ensaio de resistência à compressão.....	156
Figura 6.47 – Bomba eletro-hidráulica utilizada no ensaio de resistência à compressão em painéis.....	158
Figura 6.48 – Equipamento Transdutech utilizado no ensaio de resistência à compressão em painéis.....	158
Figura 6.49 – Esquema de montagem do ensaio de resistência à compressão simples em painéis.....	159
Figura 6.50 – Painel de vedação no ensaio de resistência à compressão simples.....	160
Figuras 6.51 e 6.52 – Defletômetros para leitura dos deslocamentos horizontais no ensaio de resistência à compressão em painéis.....	160
Figuras 6.53 e 6.54 – Defletômetros para leitura dos encurtamentos no ensaio de resistência à compressão em painéis.....	160
Figuras 6.55 e 6.56 – Painel de vedação após o ensaio de resistência à compressão.....	165
Figuras 6.57 e 6.58 – Ondulações e amassamentos nos painéis após o ensaio de resistência à compressão.....	165
Figura 6.59 – Corpo de prova preparado para o ensaio de impacto de corpo mole.....	167
Figura 6.60 – Esquema de execução do ensaio de impacto de corpo mole.....	167
Figura 6.61 – Dispositivo para marcar os deslocamentos horizontais.....	168
Figura 6.62 – Corpo de prova após o ensaio de impacto de corpo mole.....	169
Figura 6.63 – Flecha residual após o ensaio de impacto de corpo mole.....	170
Figuras 6.64 e 6.65 – Dobras e rasgo no painel após o ensaio de impacto de corpo mole.....	170
Figura 6.66 – Corpo de prova preparado para o ensaio de impacto de corpo duro.....	172
Figura 6.67 – Esquema de execução do ensaio de impacto de corpo duro.....	172
Figuras 6.68 e 6.69 – Realização do ensaio de impacto de corpo duro.....	173
Figuras 6.70 e 6.71 – Corpo de prova após o ensaio de impacto de corpo duro.....	175
Figuras 6.72 a 6.75 – Mossas ocasionadas nos painéis após o ensaio de impacto de corpo duro.....	175

Figuras 6.76 e 6.77 – Temporal e enchente em São Carlos (SP) em 13/03/2011....	177
Figura 6.78 – Prédio destelhado em São Carlos (SP) após temporal com rajadas de ventos em 21/02/2011.....	177
Figura 6.79 – Antena de prédio destruída após temporal com rajadas de ventos em São Carlos (SP) em 21/02/2011,.....	177
Figuras 6.80 e 6.81 – Árvores arrancadas com raiz em São Carlos (SP) em 21/02/2011.....	178
Figura 6.82 – Planta baixa de disposição dos painéis de vedação vertical da célula-teste.....	180
Figuras 6.83 e 6.84 – Fachada Leste da célula-teste – estados inicial e atual.....	184
Figuras 6.85 e 6.86 – Fachada Sul da célula-teste – estados inicial e atual.....	184
Figuras 6.87 e 6.88 – Fachada Oeste da célula-teste – estados inicial e atual....	184
Figuras 6.89 e 6.90 – Fachada Norte da célula-teste – estados inicial e atual.....	185
Figuras 6.91 e 6.92 – Painéis 1 e 2 da célula-teste – estados inicial e atual.....	185
Figuras 6.93 e 6.94 – Painel 1 da célula-teste – estados inicial e atual.....	185
Figuras 6.95 e 6.96 – Parte inferior do painel 1 da célula-teste – estados inicial e atual.....	186
Figuras 6.97 e 6.98 – Painel 2 da célula-teste – estados inicial e atual.....	186
Figuras 6.99 e 6.100 – Parte inferior do painel 2 da célula-teste – estados inicial e atual.....	186
Figuras 6.101 e 6.102 – Painéis 3 e 4 da célula-teste – estados inicial e atual.....	187
Figuras 6.103 e 6.104 – Painel 3 da célula-teste – estados inicial e atual.....	187
Figuras 6.105 e 6.106 – Parte inferior do painel 3 da célula-teste – estados inicial e atual.....	187
Figuras 6.107 e 6.108 – Painel 4 da célula-teste – estados inicial e atual.....	188
Figuras 6.109 e 6.110 – Parte inferior do painel 4 da célula-teste – estados inicial e atual.....	188
Figuras 6.111 e 6.112 – Painéis 5 e 6 da célula-teste – estados inicial e atual.....	188
Figuras 6.113 e 6.114 – Painel 5 da célula-teste – estados inicial e atual.....	189
Figuras 6.115 e 6.116 – Parte inferior do painel 5 da célula-teste – estados inicial e atual.....	189
Figuras 6.117 e 6.118 – Parte mediana do painel 5 da célula-teste – estados inicial e atual.....	189
Figuras 6.119 e 6.120 – Parte superior do painel 5 da célula-teste – estados inicial e atual.....	190
Figuras 6.121 e 6.122 – Painel 6 da célula-teste – estados inicial e atual.....	190
Figuras 6.123 e 6.124 – Parte inferior do painel 6 da célula-teste – estados inicial e atual.....	190
Figuras 6.125 e 6.126 – Painéis 7 e 8 da célula-teste – estados inicial e atual.....	191
Figuras 6.127 e 6.128 – Painel 7 da célula-teste – estados inicial e atual.....	191
Figuras 6.129 e 6.130 – Parte inferior do painel 7 da célula-teste – estados inicial e atual.....	191
Figuras 6.131 e 6.132 – Painel 8 da célula-teste – estados inicial e atual.....	192
Figuras 6.133 e 6.134 – Parte inferior do painel 8 da célula-teste – estados inicial	

e atual.....	192
Figuras 6.135 e 6.136 – Painéis 2-3 e 4-5 da célula-teste internamente – estado atual.....	193
Figuras 6.137 e 6.138 – Parte inferior dos painéis 2 e 3 da célula-teste internamente – estado atual.....	193
Figuras 6.139 e 6.140 – Parte inferior dos painéis 4 e 5 da célula-teste internamente – estado atual.....	193
Figuras 6.141 e 6.142 – Painéis 6-7 e 8-1 da célula-teste internamente – estado atual.....	194
Figuras 6.143 e 6.144 – Parte inferior dos painéis 6 e 7 da célula-teste internamente – estado atual.....	194
Figuras 6.145 e 6.146 – Parte inferior dos painéis 8 e 1 da célula-teste internamente – estado atual.....	194