arquitetura de papel

diálogo entre desenho, maquete, edifício e sustentabilidade

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.

Catalogação na Publicação
Serviço Técnico de Biblioteca
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo

Lohnhoff, Caroline Casarin
Arquitetura de papel: diálogo entre desenho, maquete, edifício e sustentabilidade / Caroline Casarin Lohnhoff; orientadora Roberta Consentino Kronka Mülfarth. - São Paulo, 2021.
86p.

Trabalho Final de Graduação (Bacharelado em Arquitetura e Urbanismo) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo.

1. Papel. 2. Material Alternativo. 3. Shigeru Ban. 4. Sustentabilidade. I. Mülfarth, Roberta Consentino Kronka, orient. II. Título.

Elaborada eletronicamente através do formulário disponível em: <http://www.fau.usp.br/fichacatalografica/>

arquitetura de papel:

diálogo entre desenho, maquete, edifício e sustentabilidade

Caroline Casarin Lohnhoff
Orientação: Prof. Dra. Roberta Consentino Kronka Mülfarth

Trabalho Final de Graduação
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo
Universidade de São Paulo
São Paulo | dez. 2021

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos os colegas, amigos e professores da FAU e da Poli que fizeram parte diretamente ou indiretamente desta longa jornada.

Em especial,

à Roberta pela orientação descontraída, precisa e motivadora;

à Tatiana e ao Eduardo por aceitarem fazer parte deste trabalho;

às meninas Ila, Ana, Bia, Ju e Cami por estarem presentes desde o primeiro dia de FAU;

à Amanda e à Lê por serem fundamentais nesta reta final;

ao Christian por transformar um ano pandêmico em algo mais leve;

à minha amiga-irmã Yara por compartilhar a vida;

aos meus pais, Geisa e Paulo, pelo amor e apoio incondicional. Sem vocês nada seria possível!

RESUMO

Inventado com o objetivo de ser um suporte para a escrita, hoje o papel é um dos materiais mais utilizados no mundo, sendo essencial no cotidiano humano. Aliando características naturais e propriedades mecânicas singulares, o material está se tornando cada vez mais popular em muitos tipos de indústria.

Nos campos da arquitetura e da engenharia civil a versatilidade do papel pode ser vista em todas as etapas de projeto. O material está presente na concepção e no desenvolvimento como suporte de desenhos e maquetes e na fase de obras como elemento construtivo.

Este trabalho visa contribuir com a produção acadêmica acerca do tema a partir de uma aproximação empírica, reconhecendo a poética em sua utilização durante todo o processo de projeto. Para isso, são discutidas as etapas iniciais de ensaios com croquis e volumetrias, em que o papel é fundamental para o desenvolvimento do projeto. Além disso, a etapa construtiva é analisada criticamente, por meio de um levantamento do estado da arte da utilização do papel na arquitetura, verificando os aspectos de viabilidade e sustentabilidade que embasam o emprego do material.

Com uma abordagem conceitual vertical, o foco do trabalho está na reflexão de seu potencial como material alternativo da construção civil.

Palavras-Chaves: Papel; Material Alternativo; Shigeru Ban; Sustentabilidade

ABSTRACT

Invented to be writing support, nowadays paper is one of the most used materials in the world and essential in human life. The combination of natural characteristics and unique mechanical properties increases the material's popularity in many industries.

In architecture and civil engineering, the versatility of paper lies in all design stages. The material is present in the design and development as support for drawings and models and equally in the construction phase as a constructive element.

This work aims to contribute to academic researches from an empirical approach, recognizing the poetics in its use throughout the project process.

The importance of the paper is approached in two phases: in the development of the project (as a surface for sketches and a tool for models) and in the construction (as a non-conventional material).

The analysis is reasoned in the state-of-the-art paper application on architecture, including aspects of feasibility and sustainability that support the use of the material.

With a vertical conceptual approach, the focus of the work is on the reflection of its potential as an alternative material for civil construction.

Key-Words: Paper; Non-conventional material; Shigeru Ban; Sustainability

introdução 10

um material milenar 12

uma ferramenta para o arquiteto 26

uma alternativa sustentável 60

papel, arquitetura e sustentabilidade 70

bibliografia 76

INTRODUÇÃO

Inventado há quase dois milênios, com a premissa de ser um suporte para a escrita, o papel hoje representa um material essencial no cotidiano humano, encontrado nos mais variados tipos e formatos, sendo utilizado para as mais diversas funções.

Apenas a partir da evolução de seu processo produtivo foi possível a transmissão de conhecimento em larga escala e a documentação da história. Tomando proporções inimagináveis, hoje, o papel representa a base da educação e da comunicação humana, sendo igualmente fundamental para o campo das artes, para as logísticas de entregas e para a higiene pessoal. É impossível imaginar um mundo sem o papel.

No âmbito da arquitetura o cenário não é diferente. O papel representa para o arquiteto uma ferramenta com a qual é possível conceber, apresentar, transformar e, até mesmo, construir seu projeto. A produção de conhecimento em relação à aplicação do papel como elemento construtivo é extremamente reduzida, principalmente quando comparada aos materiais convencionais da construção civil. Grande parte dos estudos realizados procuram demonstrar tecnicamente a viabilidade de seu uso, por meio de ensaios e comparações com parâmetros previamente conhecidos.

Neste panorama se enquadra a motivação para o desenvolvimento deste trabalho. Como entusiasta do material, a autora busca uma aproximação empírica do tema, divergindo da abordagem convencional. Tão importante quanto os aspectos técnicos que viabilizam o uso do papel como elemento construtivo na arquitetura, é reconhecer a poética em sua utilização durante todo o processo de projeto. O papel está presente na concepção e no desenvolvimento de uma ideia, podendo ser inclusive o material capaz de torná-la realidade.

Desta forma, tem-se como objetivo principal o levantamento do estado da arte acerca da utilização do papel na arquitetura a partir de uma abordagem conceitual vertical, com foco na sua aplicação como material alternativo da construção civil. Pretende-se exaltar a versatilidade do papel demonstrando sua importância nas etapas iniciais de projeto e, posteriormente, verificando os aspectos de viabilidade e sustentabilidade que embasam o emprego do material, tecendo uma análise crítica do seu potencial.

Para tanto, o trabalho está estruturado em três partes:

Em *"UM MATERIAL MILENAR"* é exposto um breve histórico sobre a origem, chegada do papel do Brasil e como sua invenção e evolução o transformou em um dos materiais mais utilizados no mundo. Neste capítulo também é discutido o processo produtivo, a variedade de tipos que pode ser encontrado e as propriedades determinantes para sua versatilidade.

Na sequência, *"UMA FERRAMENTA PARA O ARQUITETO"* apresenta a importância do material a depender da sua forma e a finalidade de seu uso. Primeiramente, são abordadas as fases de concepção e de apresentação do projeto, em que o papel é trabalhado no formato bidimensional. Em seguida, iniciando a passagem para o tridimensional, é analisada a etapa de ensaios onde o manuseio do material é essencial para o entendimento volumétrico e estudos de formas do projeto. Finalmente, entendidas as novas propriedades ao ganhar uma nova dimensão, o papel é estudado como elemento arquitetônico e construtivo.

Por fim, *"UMA ALTERNATIVA SUSTENTÁVEL"* debate o conceito de desenvolvimento sustentável e sua relevância para o futuro humano, traçando um paralelo com o potencial de ser alcançado quando inserido como uma premissa de projeto na arquitetura por meio da utilização de materiais alternativos.

capítulo I

um material milenar

UM MATERIAL MILENAR

*"**pa·pel** s.m. Substância constituída por elementos fibrosos, principalmente de origem vegetal, unidos entre si, formando uma pasta que se faz secar sob a forma de folhas finas, utilizadas para diversos fins: escrever, imprimir, embrulhar etc." (MICHAELIS, 2021)*

ORIGEM E INÍCIO DE SUA HISTÓRIA

A origem do papel, considerada oficial, se dá em 105 d.C., na China. Neste ano, durante a Dinastia Han, o eunuco e oficial assistente da corte imperial Cai Lun produziu a primeira folha de papel a partir de uma mistura úmida de fibras de amoreira, bambu, rami, redes de pescar e roupas velhas. Estes materiais foram pilados até se obter uma pasta que, em seguida, foi estendida em uma espécie de peneira formada por seda e bambu com o objetivo de escorrer o excesso de água. Posteriormente, a pasta era colocada para secar ao sol, para que a água remanescente evaporasse de forma natural.[52][23][14]

Com este método, Cai Lun inventou o processo de fabricação do papel, tal como conhecemos e precursor do qual aplicamos hoje em dia. No entanto, há controvérsias quanto este ser o início da história do papel. Desde muito antes do homem, na própria natureza, certas espécies de vespas e marimbondos fabricam pasta de celulose para construção de seus ninhos. Para além disso, outras evidências contestam a data oficial, como a existência de papéis datados de 65-56 a.C.[A] e até mesmo um conto chinês que descreve o processo produtivo do papel[34]:

> *"The legend says that a certain Han Xin, who served at the Court of Emperor Gaozu (247-195 BC), during his youth helped a washerwoman bleach silk floss. Silk floss was cleaned in the water by being beaten on a mat. The broken fibers sneaked through the longer ones and formed a layer on the mat. When such a layer dried, it would become very much like a piece of paper. So the legend followed the logic."* (LATKA, 2017, p. 51)[B]

Na mesma linha, estudiosos argumentam que o material inventado por Cai Lun não seria papel, mas uma espécie de tapa[34]. A tapa é um tecido proveniente da casca de árvore, fabricado desde os tempos pré-históricos por povos equatoriais e usado principalmente para decoração e roupas. De maneira análoga ao papel, um de seus métodos produtivos consiste em aferventar pequenas tiras do material contido na entrecasca da árvore, amassá-las com um martelo e, logo após, seguir para secagem e alisamento.[26]

As disparidades entre os materiais se dão por meio de uma comparação estrutural, em que a tapa se apresenta como tiras de material, enquanto o papel consiste em fibras de celulose conectadas umas às outras por meio de uma polpa[34]. Embora haja diferenças, é inegável as semelhanças e a inspiração da fabricação do papel em relação às técnicas produtivas da tapa.

De todo modo, quando o papel foi inventado, sua principal função era escrita e comunicação. Naquela época, o papiro e o pergaminho eram os principais materiais utilizados para esse fim. Ambos eram derivados de materiais caros ou limitados na natureza, além de difícil transporte e requererem maior atenção e trabalho manual para atingir um acabamento adequado[29]. O papel, por outro lado, acabou se tornando o "rival vitorioso"[23] por conta de seu baixo custo, matéria prima em abundância e leveza.

O processo produtivo descoberto por Cai Lun se manteve em segredo entre os chineses até o século VIII. Durante este período, os chineses o aprimoraram, desenvolvendo



Fig. 1. Extração do bambu



Fig. 2. Imersão em água



Fig. 3. Colocação da polpa na tela para secagem



Fig. 4. Finalização

A. No livro *"A Life of T'ai Lung and Japanese Paper Making"* (1980), a autora relata que foram encontradas as amostras mais antigas de papel feito de fibras de linho, datadas de 65-56 a.C.. Além disso, o primeiro dicionário chinês sistemático, de 69 d.C. também possuía partes em papel. [34]

B. Tradução livre: *"Diz a lenda que um certo Han Xin, que serviu na corte do imperador Gaozu (247-195 a.C.), durante sua juventude ajudou uma lavadeira a branquear seda. A seda era limpa com água, batendo-a numa esteira. As fibras quebradas penetravam nas mais compridas e formavam uma camada na esteira. Quando essa camada secasse, ela se tornaria muito parecida com um pedaço de papel. Portanto, a lenda seguia a lógica."*



Fig. 5. Pergaminho



Fig. 6. Papiro

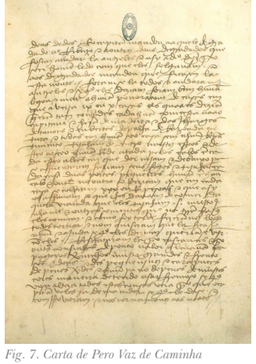


Fig. 7. Carta de Pero Vaz de Caminha

metodologias que aceleravam o processo de secagem, como a utilização de fornos; técnicas de alisamento que melhoraram o acabamento; e, principalmente, puderam entender a importância da matéria prima em relação ao produto final:

"Obviamente que o processo original de fabricação de papel proposto pelo Ts'ai Lun foi aperfeiçoado pelos seus contemporâneos. Uma prova disso é que se pode ver, em pinturas antigas chinesas, a produção de papel utilizando uma única fonte de fibras como o bambu. Esse tipo de evolução foi muito importante porque, ao se possuir uma fonte única de fibras, produzia-se um papel mais homogêneo e pouco sujeito às variações finais de qualidade. Quanto mais jovem era a planta de bambu, melhor resultava a qualidade do papel que dela era obtido." (CAMPOS & FOELKEL, 2016, p. 23)

O principal marco para a difusão do material foi a Batalha de Talas, em Sarmacanda. Por conta do conflito, o conhecimento foi passado para os árabes como moeda de troca para a liberdade de prisioneiros[23]. Sob domínio árabe, a técnica de produção de papel foi aprimorada com o uso de outras fibras, fazendo com o material tivesse maior qualidade, elevando a fama e a riqueza da cidade.

Os aprimoramentos trazidos pelos árabes se deram sobretudo pela falta da matéria prima utilizada pelos chineses. Neste caso, o papel por eles produzido tinha como origem fibras de trapos de linho e algodão, iniciando uma nova etapa na história do material. Este fato fez com que durante um longo período as fibras vegetais virgens deixassem de serem usadas como matéria prima para a fabricação do papel, sendo substituídas pela reciclagem das fibras vegetais incorporadas pelos processos têxteis.[14]

Dessa forma, os árabes foram essenciais para a evolução e para a difusão do papel pelo mundo conforme suas conquistas territoriais. Assim, como consequência da expansão árabe, a chegada do papel na Europa se deu pela Península Ibérica, no século XI. Uma vez na Europa, a técnica de fabricação do papel se espalhou por todo o continente e, em decorrência das colonizações, gradualmente o material ganhava espaço por todo o mundo.[23]

As contribuições europeias para as melhorias e propagação do papel vieram na forma de mecanização e industrialização do processo produtivo. A principal invenção que fez com o que o papel ganhasse um lugar de destaque aumentando sua procura foi a imprensa, desenvolvida por Johannes Gutenberg em 1450. Esta criação viabilizou maior rapidez na produção de livros por conta da velocidade de impressão e até mesmo o surgimento dos meios de comunicação impressos, como os jornais, anos depois.[52]

Com o papel sendo consumido em ritmo acelerado, as matérias primas têxteis se tornaram escassas. Por conta disso, os governos da Europa e Estados Unidos criaram medidas para evitar o desperdício desses materiais e, ainda, promoveram concursos para que novos produtos fossem testados e viessem a substituir o linho e o algodão.

Como consequência, o fim do século XVIII e início XIX foi marcado por diversos testes promovidos por estudiosos, em especial René-Antoine Ferchault de Réaumur e Mathias Koops, que analisaram a utilização da madeira como fonte de fibras vegetais para a produção de papel. Com base nesses estudos, Friedrich Gottlob Keller em parceria com Voelter, na Alemanha, desenvolveram uma máquina moedora capaz de transformar a madeira em polpa, fazendo com que as fibras vegetais voltassem a ser utilizadas como matéria prima do papel, desta vez em larga escala.[52][14]

Através dessa abertura, muitos outros estudos foram realizados para atingir o nível de excelência que o material possui hoje em dia. Novas máquinas e ferramentas foram inventadas, assim como procedimentos para incorporar aditivos em sua composição foram testados e aprovados. As mais variadas experimentações são exploradas até hoje, tendo como objetivo uma produção mais eficiente e a constante a melhoria das propriedades do produto final.

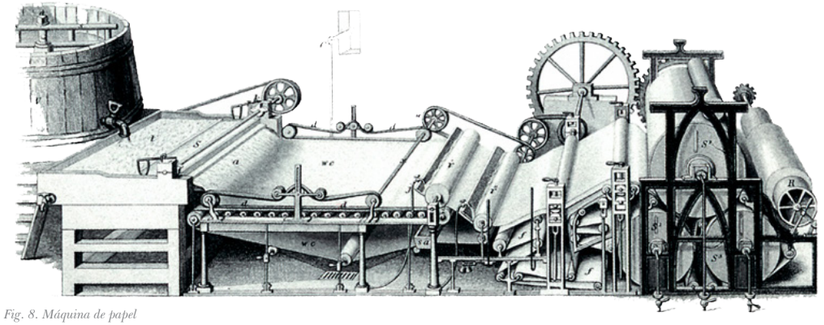


Fig. 8. Máquina de papel

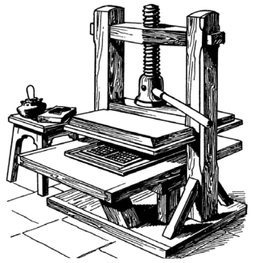


Fig. 9. Imprensa de Gutenberg

O PAPEL NO BRASIL

Em território brasileiro, a presença do papel é marcada juntamente com o seu descobrimento, pela carta de Pero Vaz de Caminha – o primeiro documento escrito da história do Brasil usado para descrever as impressões dos portugueses ao atracarem no Novo Mundo.

O primeiro papel produzido no Brasil é datado de 16 de novembro de 1809. A referência à fabricação foi reportada em um documento escrito por Frei José Mariano da Conceição Velozo ao Conde de Linhares, Ministro do Príncipe Regente D. João. Nele, o Frei descreve o procedimento realizado no Andaraí Pequeno, Rio de Janeiro, com a utilização de plantas nativas, além de encaminhar uma amostra do material. A primeira fábrica brasileira foi construída em 1810, no mesmo local.[40]

As empresas do ramo, em sua maioria, eram gerenciadas por imigrantes e iniciaram suas atividades com importações até, finalmente, fabricarem seu próprio produto. Nesta época, o papel brasileiro tinha como matéria prima trapos velhos de algodão ou de linho e papéis descartados. A indústria do papel começou a ter relevância no país juntamente com a expansão da economia do café, em 1880. Ainda assim, a produção de papel no Brasil era bastante limitada.[14]

Apesar das condições favoráveis para o progresso da indústria do ponto de vista de matérias primas, alguns empecilhos impediam o crescimento do Brasil no ramo. Dentre eles, a dependência de importação de polpa e maquinários e a falta de profissionais qualificados. Foi a partir de subsídios e auxílios governamentais que a indústria do papel pôde prosperar. Destaca-se como fator fundamental para o crescimento do setor a política de estatização de Getúlio Vargas que promoveu o aumento da produção interna e a integração entre atividade florestal, produção de celulose e de papel.[14]

Em meados de 1950, grande parte da produção de papel no Brasil era autossuficiente. Por outro lado, a produção interna de celulose continuava baixa e mais de 70% da matéria prima ainda era importada. Devido a retração do mercado internacional de celulose e constantes preocupações quanto a insuficiência de matéria prima para atender a demanda de consumo, pesquisas acadêmicas foram realizadas para que novas espécies de árvores fossem utilizadas para a produção da polpa. O cenário foi favorável para o Brasil, que passou a adotar o eucalipto em seus processos, garantindo seu desenvolvimento no setor.

> *"Em razão da resistência física adequada e das boas propriedades de opacidade e formação de folha das polpas de eucalipto e obviamente pressionados pelo custo e carência de polpas de fibra longa, os fabricantes de papel em pouco tempo aprenderam a fabricar papéis com 100% dessa celulose, utilizando, inclusive, melhores técnicas de refinação, com um baixo consumo de energia. Esse fato, de que se orgulham particularmente os papeleiros brasileiros, acabou sendo resultante certamente das condições locais de carência de polpas de fibras longas e a criatividade de nossos técnicos."* (CAMPOS & FOELKEL, 2016, p. 108)

Essa substituição na matéria prima fez com que a produção de celulose aumentasse mais de 30 vezes em 6 anos, atingindo o marco de 51.900 toneladas do produto. Com esta aceleração, em 1960, a quantidade de celulose importada se reduziu a 28,8% do total consumido. Outro fator importante para o Brasil ganhar uma posição de destaque mundial como produtor de papel e celulose, foram os incentivos, suportes e políticas desenvolvidas pelo BNDES desde sua criação, em 1952, até os dias de hoje. As estratégias foram fundamentais para que houvesse uma melhoria tecnológica e de gestão das indústrias, causando aumento da capacidade produtiva, atendendo a demanda interna e gerando excedente para a exportação.

Atualmente, a produção brasileira de celulose e de papel são processos independentes. De acordo com o relatório *"VISÃO 2035: Brasil, país desenvolvido"* do BNDES, em 2016 o Brasil foi o segundo maior produtor de celulose do mundo, sendo cerca de 70% da produção destinada ao mercado exterior. Já no segmento de papéis, o destaque brasileiro é menor[C], o país ocupa o sexto lugar do ranking, com 10.333 milhões de toneladas produzidas no mesmo ano, com destaque para a utilização de madeiras de reflorestamento.

C. Por conta das particularidades de cada subsegmento de papel, se torna inviável definir uma única razão para a baixa competitividade do Brasil neste ramo. No entanto, sugere-se que uma parcela se deve em função do mercado consumidor brasileiro e latino-americano demandarem pouco da produção, dificultando o aumento da escala produtiva. [8]

PROCESSO PRODUTIVO

Embora seja uma invenção milenar, pode-se dizer que a essência do processo de produção do papel segue intacta, mesmo após quase dois milênios de criação. As mudanças e as melhorias ocorridas ao longo do tempo são marcadas pelo emprego de novas tecnologias e acabamentos, mantendo a ancestralidade em seu princípio e confecção.

De maneira geral, o papel é formado por três componentes principais: matérias primas fibrosas, matérias primas não-fibrosas e água. A parcela fibrosa pode ser de origem vegetal, animal, mineral ou artificial, enquanto a não-fibrosa diz respeito aos aditivos utilizados para melhorar as propriedades do papel.[52]

O processo de fabricação do papel pode ser dividido em duas fases: a preparação da polpa e o seu processamento para a formação do papel. Atualmente, grande parte dos papéis tem como matéria prima a madeira, na qual a polpa é obtida a partir de fibras vegetais provenientes de troncos de árvores. Para isso, a primeira etapa do processo é a individualização dessas fibras através do cozimento e posterior moagem de fragmentos de madeira.[34]

Na sequência, as fibras passam processos de lavagem, branqueamento e limpeza que buscam eliminar impurezas e resíduos que impactam na qualidade do produto final. Ao longo desse processo, também há o refinamento da polpa com a adição de substâncias capazes de melhorar a qualidade do papel. Vale ressaltar que neste momento, a depender do uso e variedade do papel a ser produzido, são utilizados componentes específicos para alterar determinadas propriedades[14]. Finalizada a fase de preparação da polpa, esta é processada por máquinas de papel onde passará pelas etapas fundamentais de formação da folha, drenagem, prensagem e secagem.[14]

Na construção civil está cada vez mais popular a utilização de tubos de papelão. Eles são fabricados de papel Kraft, feito a partir da celulose de materiais descartados. As matérias primas são aparas de papel e água, que são misturadas na proporção de 1:20 e trituradas. Na sequência, a polpa passa por separadores que retiram materiais pesados, como pedriscos, metais e plásticos, seguido pelo processo de refinamento. Finalizado o preparo da polpa, esta segue para a mesa plana que contém perfurações, permitindo a formação da folha e drenagem do excesso de água. Em seguida, a folha é prensada por cilindros para que mais água seja retirada e, por fim, é secada ao passar por cilindros aquecidos. Após estes procedimentos, o papel Kraft está pronto. Ele pode ser cortado conforme desejado ou armazenado em bobinas até sua utilização.[52]

Para a fabricação dos tubos, a folha Kraft é cortada em tiras que são enroladas e enviadas para as indústrias especializadas. Lá, as faixas são banhadas em cola e, logo após, são enroladas em espiral. Os tubos com espessura acima de 8mm devem secar em uma estufa até atingir a umidade adequada. No Brasil, dependendo do fabricante, há uma faixa de 1,5 a 20mm na dimensão da espessura das paredes dos tubos enquanto o diâmetro interno pode variar de 24,8 a 505,5 mm.[52]

TIPOS E PROPRIEDADES

A versatilidade do papel em sua aplicação se dá por conta da variedade de tipos que ele pode ser encontrado. Dependendo das composições na matéria prima, diferentes gramaturas, espessuras e acabamentos podem ser alcançados. Assim, o material pode transitar entre as mais diversas propriedades físicas, visuais e táteis, permitindo seu uso para múltiplas finalidades.

Elencar todos os tipos de papéis existentes atualmente é uma tarefa árdua e praticamente utópica. O agrupamento desse material pode ser feito considerando a aplicação ou

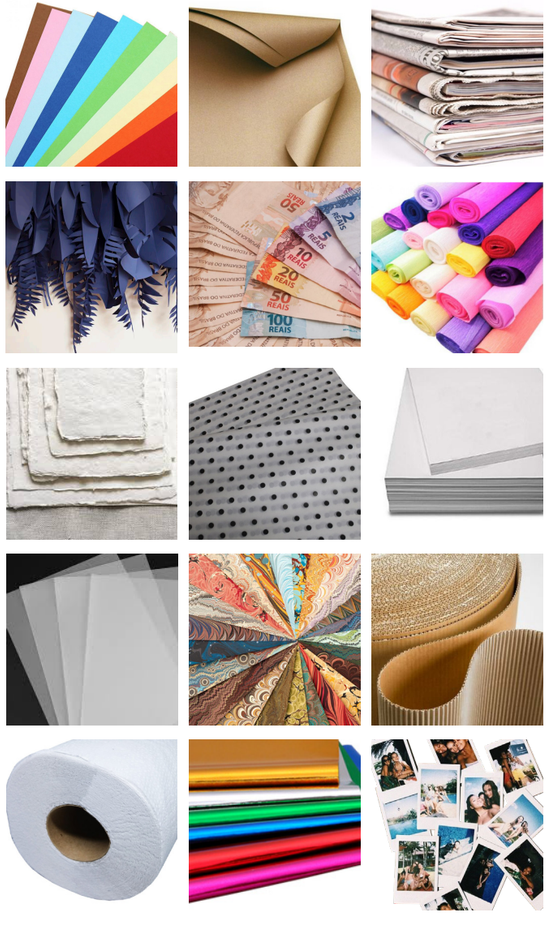


Fig. 10. Tipos de papel

pela gramatura. A classificação utilizada pelo BNDES em seus relatórios técnicos se baseia no espectro de utilização, sendo divididos da seguinte maneira:

- **PAPEL IMPRENSA –** popularmente conhecido como papel-jornal, sua utilização se baseia na impressão de jornais e revistas. É caracterizado por sua baixa gramatura e coloração acinzentada.
- **IMPRIMIR E ESCREVER –** podem ser subdivididos de acordo com seu revestimento e fabricação. Esta categoria abrange diversos tipos, como o papel offset, papel bíblia, papel couché, papéis acetinados.
- **PAPELÃO ONDULADO –** normalmente é fabricado a partir de fibras recicladas e é destinado majoritariamente à produção de caixas de transporte.
- **PAPEL-CARTÃO –** caracterizado pela sua rigidez decorrente de múltiplas camadas. Usualmente, aplicado em embalagens, capas de exemplares, propagandas gráficas e escrita.
- **SANITÁRIOS –** também chamados de *tissue*, essa classificação engloba papéis superfinos, sendo o principal produto o papel higiênico. Fazem parte dessa classificação os demais papéis absorventes: toalhas, guardanapos, lenços, filtros, entre outros.
- **DEMAIS –** inclui outros papéis para embalagens e papéis especiais – por exemplo, papel moeda, papel carbono, papel crepom, papel fotográfico, papel vegetal.

Vale ressaltar que a classificação adotada acima é focada em segmentar os papéis do ponto de vista de análise da produção. Logo, estes representam os tipos mais fabricados no Brasil, sem necessariamente considerar um refino maior de propriedades e destinação. Pelo contrário, a parcela "demais" certamente abrange uma variedade de tipos de papéis muito maior do que as outras frações.

No âmbito da arquitetura, são utilizados diversos tipos de papéis, dependendo da sua aplicação. Sendo assim, é fundamental conhecer as propriedades do material para garantir o resultado esperado. A importância de cada um desses aspectos pode ser maior ou menor conforme sua finalidade. Tendo como foco o estudo do papel como um elemento construtivo, os parâmetros tratados nesta seção dizem respeito ao desempenho do material para tal condição. As propriedades visuais e táteis que estão associadas à cor, à opacidade e à textura do material não serão abordadas, apesar de serem relevantes se consideradas outras atividades, principalmente aquelas que se aproximam do design e do campo das artes de maneira geral.

Começando pela sua microestrutura, o papel é formado por fibrilas de celulose, que garantem a ele grande resistência mecânica. Essas propriedades podem variar mesmo entre papéis feito da mesma polpa. Isso porque as fibras são organizadas aleatoriamente na formação do material e, à medida que há a sobreposição dessas fibras, ele ganha resistência. Dessa forma, quanto mais ligações são criadas durante sua produção, mais forte é o papel. Para facilitar o entendimento dessa "teia" que compõe a microestrutura do papel, ela pode ser comparada com um prato de espaguete cozido, cujos fios são desordenados e sobrepostos.[34]

A aleatoriedade na disposição das fibras é o fator que caracteriza o papel como um material anisotrópico – isto é, as propriedades são variáveis dependendo da direção de aplicação do teste. Durante o processo de produção nas máquinas de papel, cerca de 70-80% das fibras são orientadas na direção da máquina (MD), enquanto 20% são orientadas perpendicularmente a ela (CD) e os 10% restantes são orientados na direção da espessura do papel (ZD).[60]

No estudo realizado por Schönwälder, foram testadas as resistências a esforços de tração e compressão em ambos os sentidos. Os resultados apresentados em curvas tensão-



Fig. 11. Ampliação da superfície do papel

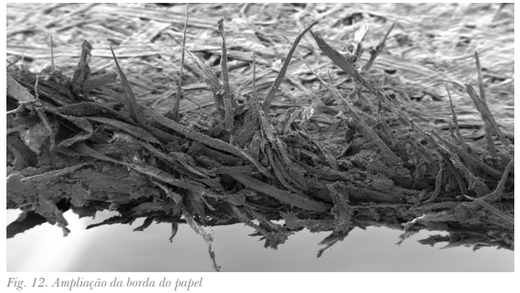


Fig. 12. Ampliação da borda do papel

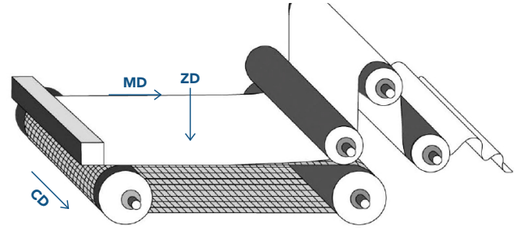
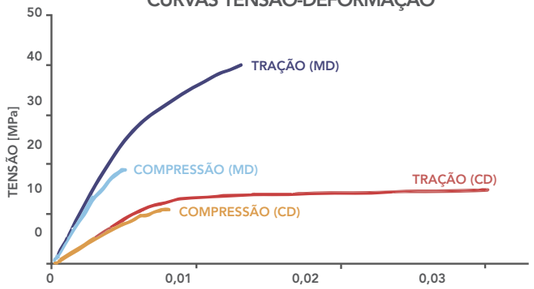


Fig. 13. Direções de orientação das fibras

deformação comprovam a anisotropia do papel, mostrando que a maior quantidade de fibras na direção MD, possibilita que o material seja mais resistente neste sentido. Além disso, os testes indicaram que a resistência à tração é muito mais significativa do que à compressão. Destaca-se ainda as características de ruptura frágil do material. Com exceção da curva de tração CD, as demais indicam que não houve deformações plásticas antes de seu rompimento - ou seja, uma ruptura brusca, sem avisos. No entanto, é possível notar nas extremidades das curvas de compressão um comportamento pós pico, em que o material é capaz de ser solicitado além da força máxima.

CURVAS TENSÃO-DEFORMAÇÃO



FONTE: Schönwälder, 2008

A nível de comparação, a Tabela 1 apresenta as propriedades mecânicas dos materiais convencionais da construção civil e dos tubos de papelão. Uma relação direta com o aço, concreto e vidro é imprópria, uma vez que são materiais fortes, rígidos e pesados. Apesar disso, é possível notar semelhança com as propriedades da madeira, sua matéria prima. Da mesma forma que o papel, a madeira é um material anisotrópico e leve.

TABELA 1 - PROPRIEDADE MECÂNICAS DE MATERIAIS

	Módulo de Elasticidade [GPa]		Tensão Máxima de Compressão [MPa]		Tensão Máxima de Tração [MPa]		Máxima Deformação [%]		Peso Específico [kN/m³]
CONCRETO C20/25	29		20		2,2		3,5		25
AÇO Fe E235	210		360		360		20		78,5
	∥	⊥	∥	⊥	∥	⊥	∥	⊥	
MADEIRA	11-14	0,3-0,5	30-50	4-7	30-80	1-3	-	-	4,5-7
PAPEL E PAPELÃO	2-20	0,5-10	5-10	2-5	15-45	5-20	1,5-2,5	3-4	6-8

FONTE: Schönwälder, 2008

∥ Aplicação do carregamento na direção paralela às fibras.
⊥ Aplicação do carregamento na direção perpendicular às fibras.

Outro aspecto fundamental para suas propriedades mecânicas é a densidade aparente. Em uma simples análise comparativa entre densidade do papel e da celulose, é possível notar que a maioria dos papéis são compostos por uma parcela significativa de vazios[D]. Essa porosidade é inversamente proporcional ao desempenho do material, ou seja, quanto maior o índice de vazios, menor sua resistência mecânica, influenciando também sua resistência em relação à água.[34]

O papel é caracterizado como um material higroscópico e, portanto, pode absorver a umidade do ar. O aumento da umidade e a presença de água enfraquecem as ligações entre as fibras, diminuindo sua resistência. Além disso, esta é a propriedade que possibilita a reciclagem do papel. Ao ficar molhado, o material se deforma até, finalmente, voltar ao estágio de polpa.[34]

A vulnerabilidade do material em relação ao fogo e à agentes biológicos é igualmente relevante. A facilidade de queima do papel está diretamente relacionada com sua densidade: quanto maior a espessura, mais difícil a combustão. No caso dos tubos de papelão, seu comportamento é similar ao da madeira. Considerando o impacto de agentes bióticos, por se tratar de um material natural, o papel está suscetível ao ataque de fungos, microrganismos e roedores, principalmente quando exposto à altas temperaturas e umidade.[34]

Diante do exposto, o papel é um material não-homogêneo, anisotrópico, não-linear e higroscópico. As propriedades acima citadas demonstram as potencialidades do material para sua aplicação na construção civil e os cuidados que devem ser considerados ao utilizá-lo. Para contornar os pontos fracos do material, cada vez mais são realizados estudos e testes com a mistura dos mais diversos tipos de aditivos durante a etapa da polpa e, principalmente, o tratamento dos tubos de papelão após sua produção, com a finalidade de melhorar as propriedades e, consequentemente, o desempenho do papel como elemento construtivo.

D. Os valores típicos de densidade aparente do papel variam de 0,5 a 0,75 g/cm³, enquanto a da celulose é de 1,5 g/cm³. Com isso, a maioria dos papéis possuem mais da metade de sua composição de vazios. [34]

capítulo II

uma ferramenta para o arquiteto

UMA FERRAMENTA PARA O ARQUITETO

"De um traço nasce a arquitetura" e por mais que *"até na areia isso pode acontecer"*[E], é muito provável que a ideia seja registrada em um pedaço de papel, seja ele parte de um bloco de anotações, o papel manteiga amassado na prancheta ou até mesmo o guardanapo de uma mesa de bar.

Independente da condição e do tipo, é fato a predominância do papel como superfície de concepção, desenvolvimento e apresentação de projeto, sendo utilizado como ferramenta para expressão e comunicação de ideias. Em um outro momento, ao ganhar forma no tridimensional, o papel passa por uma mudança de comportamento e propriedades, servindo não apenas para estudos volumétricos do projeto em desenvolvimento, como possibilita seu uso estrutural.

Através do reconhecimento do papel como um material resistente a esforços, barato e ecologicamente correto[F], sua utilização tem se tornado cada vez mais frequente nas áreas da arquitetura e da construção civil, deixando de ser somente a base de representações, sendo visto inclusive como elemento estrutural.

Em razão das diferentes aplicações na arquitetura, o papel se tornou o objeto de estudo deste trabalho, que visa abordar suas facetas no desenvolvimento de um projeto.

BIDIMENSIONAL | CONCEPÇÃO E APRESENTAÇÃO

Antes mesmo do surgimento da escrita, os primeiros seres humanos se expressavam por meio de desenhos. A arte rupestre era usada como forma de retrato do dia-a-dia, documentando costumes, rituais e a vivência de um povo. Com a sua evolução, conhecimentos puderam ser transmitidos e ciências puderam ser exploradas.

> *"O desenho é o motor do mundo, cerne da arte, entendido enquanto fonte de comunicação, estando na origem de todas as civilizações. Sem desenho não existiria conhecimento. E devemos esse conhecimento aos primeiros seres humanos, que foram os primeiros artistas."* (GANTES, 2015, p. 141)

E. No livro *"Conversa de Arquiteto"*, Oscar Niemeyer trata sobre seus métodos de projeto em um compilado de pequenos textos. As citações estão presentes em *"Como nasce a arquitetura"*, no qual o arquiteto divaga sobre o processo de concepção de um projeto.

F. Neste contexto, *"ecologicamente correto"* diz respeito à eliminação ou diminuição dos impactos ambientais e sociais em sua cadeia produtiva, contribuindo para um desenvolvimento sustentável. Este tópico será aprofundado adiante, no capítulo *"UMA ALTERNATIVA SUSTENTÁVEL"*.

Nos primórdios da arquitetura, o projeto tal como é conhecido atualmente era inexistente. O mestre de obras era responsável por construir a edificação com base naquelas já finalizadas, sem o auxílio de desenhos. Foi a partir do Renascimento, com Brunelleschi, que o desenho em escala e os modelos matemáticos se difundiram. Neste momento, houve uma divisão entre o trabalho manual e o intelectual, fazendo com que o arquiteto passasse a ser visto como *"projetista conceitual"*[63].

A representação da arquitetura através de plantas, elevações e cortes é marcada pela carta de Rafael a León X, datada de 1519, na qual ele complementa os princípios apresentados por Vitrúvio e Alberti e descreve as projeções que são utilizadas até hoje[63].

Sendo assim, o processo de produção arquitetônico se manifesta por meio de representações da realidade em conformidade com a proposição, expressas por meio de desenhos. O desenho é a linguagem fundamental do arquiteto, capaz de traduzir aquilo que dificilmente seria explicado com palavras. Com um lápis e um pedaço de papel, uma ideia preliminar é delineada e o projeto é iniciado. A cada etapa, há a reformulação de traços, na busca contínua da materialidade do que antes existia apenas em pensamento. Deste modo, nesta etapa de projeto o papel atua como uma base para reflexões.

> *"[...] No processo de criação, a mente, a mão e os olhos são cúmplices que agem para transformar o imaterial em visual, em concretude. Mais que um mero suporte,*



Fig. 14. Croqui em agenda - Arquiteto: João Diniz

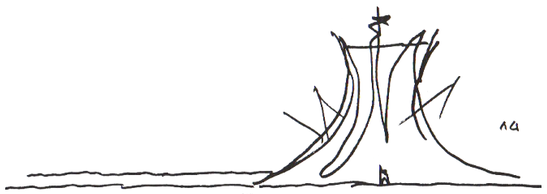


Fig. 15. Croqui da Catedral de Brasília (1958) - Arquiteto: Oscar Niemeyer

a superfície do papel torna-se território de reflexão. Impulsivos ou comedidos, riscados de modo rápido ou tranquilo, os primeiros contornos despontam como grafismos de reconhecimento: são insinuações, raramente inteligíveis aos olhares desatentos, mas esforços para determinar o caminho a seguir. Nem sempre registram de imediato resultados claros e definitivos. Como regra, precisam ser amadurecidos pela sobreposição de novas linhas, manchas e massas, pela alteração de proporções, pelo acréscimo de outras geometrias, pela eliminação do já superado. Ou se mostram exauridos, sem saída, obrigando ao recomeço em outra folha de papel." (DOURADO, 1994 apud TAMASHIRO, 2003)

O papel, para além de uma superfície, é responsável pela estruturação de um conceito. O ato de projetar pode ser aproximado da exploração de possibilidade de transformação do que é real, em busca de uma proposta que se relacione perfeitamente com o ponto de partida. Ao percorrer essa jornada, o arquiteto se depara com um ciclo iterativo de concepção e verificação, onde um traço puxa o outro até que a criação seja consolidada[46].

Durante este processo, o papel transparente manteiga ou vegetal é essencial para a sobreposição de desenhos, facilitando a alteração do que foi feito anteriormente e, ainda, servindo como base para a documentação da evolução do projeto e futuras comparações com o edifício construído (ou não).

"[...] Quando o projeto se faz obra, ao final do processo de construção, as representações podem desaparecer por completo ou se tornarem registro do surgimento daquela arquitetura no mundo das coisas feitas. Quando não

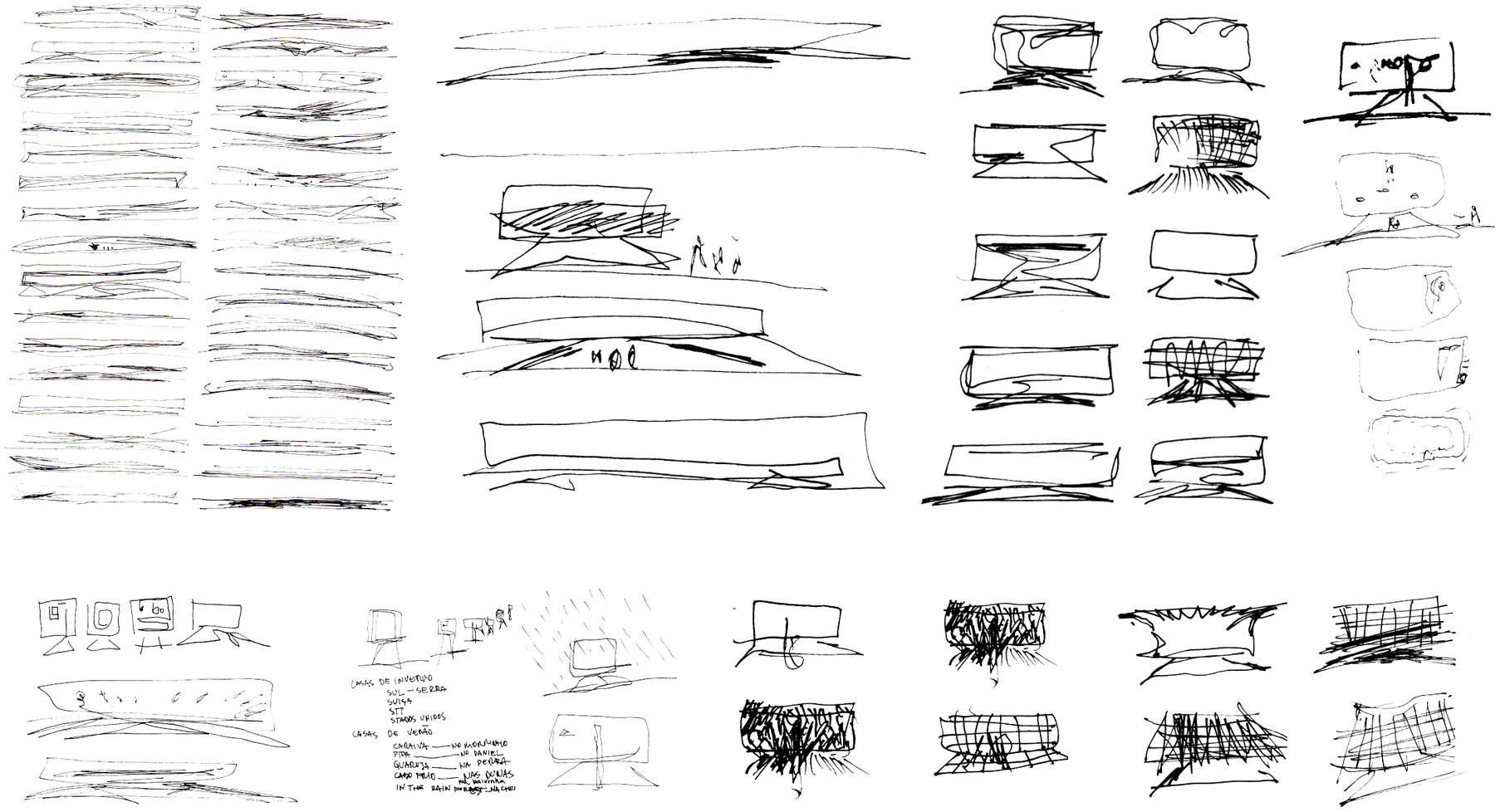
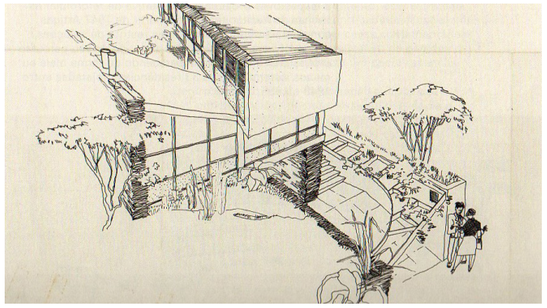
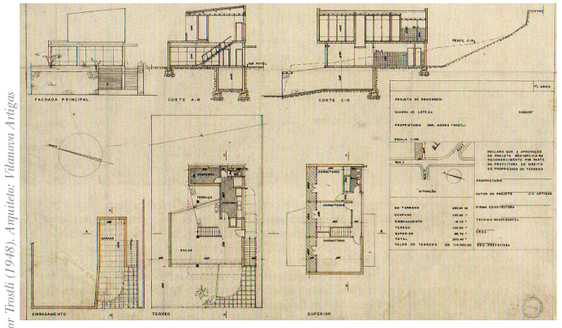


Fig. 16. Croquis de estudo - Arquiteto: Benedito Fernando Moreira





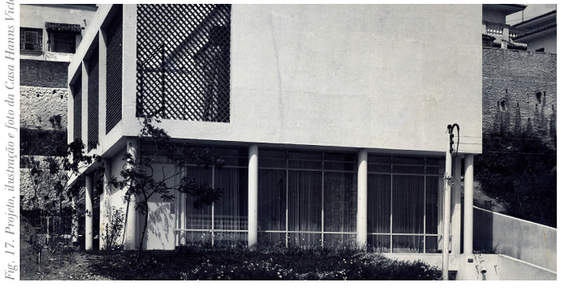


Fig. 17. Projeto, ilustração e foto da Casa Hanns Victor Tradli (1948). Arquiteto: Vilanova Artigas

> *construída, a arquitetura continua existindo, embora exclusivamente como representação de suas proposições"* (OUKAWA, 2019, p.47)

Após idas e vindas, com a fase de concepção finalizada, o desenho do arquiteto se torna fundamental para a construção do que fora projetado. Desta vez, o desenho deixa de ser o croqui, o *"desenho feito para pensar"*[46], e passa a transmitir as informações necessárias para que o projeto saia do papel. Assim, as linhas feitas à mão, sem precisão passam a ganhar traços à tinta, em escala, feitas com o auxílio das mais variadas ferramentas. O desenho se torna técnico e cada dimensão é cotada, da mesma maneira que códigos e símbolos determinados por norma são aplicados.

A linguagem técnica e oficial utilizada pelos arquitetos brasileiros é normatizada pela *"NBR 6492 – Representações de Projetos de Arquitetura"*, que norteia, inclusive, as recomendações para o tipo de papel e tamanho padrão adequado para a apresentação do projeto. Os papéis devem ser "*transparentes ou opacos, de resistência e durabilidade apropriadas. A escolha do tipo de papel deve ser feita em função dos objetivos, do tipo do projeto e das facilidades de reprodução"*. Quanto ao tamanho, devem ser utilizados os formatos da série A, sendo o máximo A0 e o mínimo A4, todos perfeitamente dobrados, de acordo com a norma, para que sejam compatíveis com o tamanho mínimo[2].

Os desenhos técnicos são essenciais para o compartilhamento do projeto com parceiros, para a aprovação do projeto frente a órgãos públicos e para a construção do projeto no canteiro de obras. No caso da apresentação para o cliente, é necessário que a linguagem e a representação sejam revistas e estejam de acordo com o nível de entendimento do receptor[6]. Dessa forma, as plantas passam a ser mobiliadas, os cortes e as elevações possuem texturas, escalas humanas e paisagismo e, principalmente, há a inclusão de ilustrações perspectivadas que trazem ao cliente sensações realistas dos ambientes.

Na busca por maior precisão, eficiência e realismo, o desenho feito à mão sobre papel tem sido substituído pela utilização de softwares. As enormes mesas de trabalho, pranchetas, réguas T e os papéis das mais variadas dimensões deram lugar aos softwares como AutoCAD, Revit e SketchUp.

> *"Na geração prancheta (anterior à geração do computador), o desenho era feito inicialmente, em folhas de papel manteiga, a lápis. Entendam-se aí, as fases de Estudo Preliminar e de Anteprojeto, fundamentais à concepção do projeto. Após a aprovação desses desenhos ocorria a sua transposição para folhas de papel vegetal, usando-se canetas a nanquim. Esse trabalho era demorado por si, e ficava ainda mais moroso quando ocorria algum erro de cópia, pois implicava na raspagem o papel com gilete" (BATLLE, 2011, p. 145 e 146)*

Se por um lado as ferramentas digitais foram desenvolvidas para facilitar o trabalho manual do arquiteto e aumentar sua produtividade, por outro, as facilidades por eles oferecidas fazem com que a prática do *"desenho para pensar"* caia em desuso. Os profissionais e os professores da área alertam para a perda de identidade causada pela padronização de traços e representações, assim como as limitações de possibilidades e do processo criativo condicionadas pelo uso de blocos pré-definidos[46].

Ainda há a necessidade de se *"devanear"* sobre um papel em branco à procura de soluções projetuais. É o desenho que proporciona as reflexões primordiais para o processo arquitetônico.

> *"DERDYK (1989, p.24) nos lembra de que desenhar é conhecer, apropriar-se; desenhar coisas, pessoas, ideias, emoções; sendo então, formas de se aproximar do mundo que nos cerca. Torna-se necessário, primeiramente, o entendimento do espaço arquitetônico para daí então, representa-lo. Por vezes também, ocorre a situação inversa, o entendimento do espaço arquitetônico advém da sua representação, ou da representação que fazemos dele." (BATLLE, 2011, p. 13)*

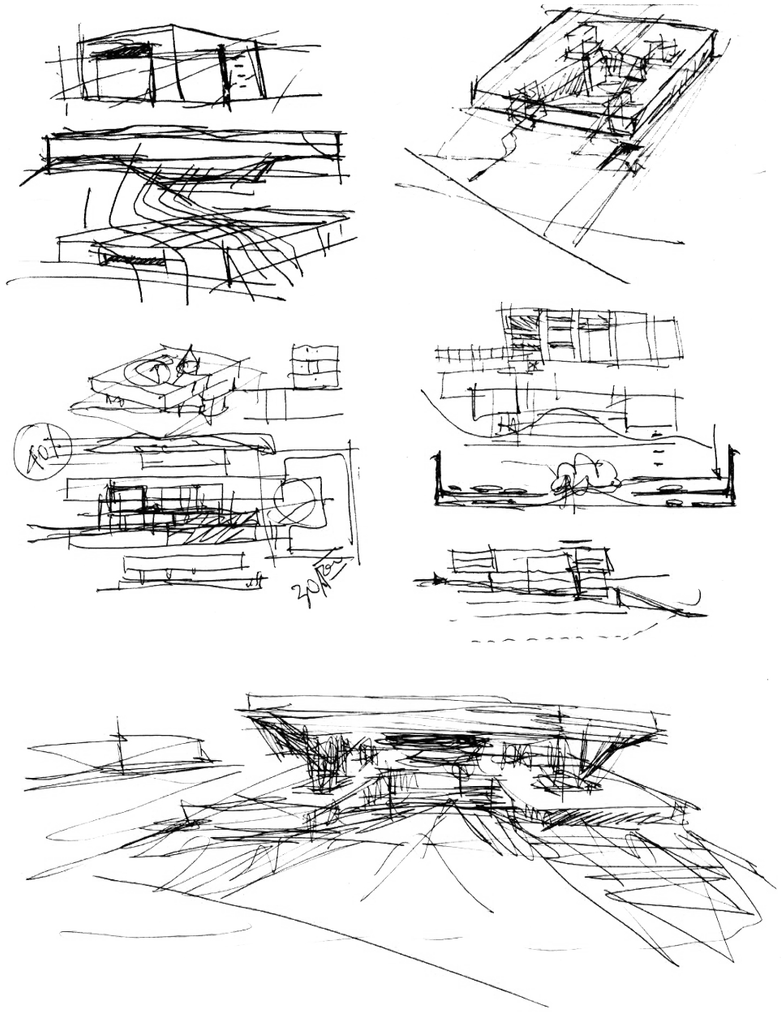


Fig. 18. Croquis de estudo - Concurso Sede Capes, Brasília (2006). Arquitetos: Sylvio Embrich de Podesta e Humberto Hermeto

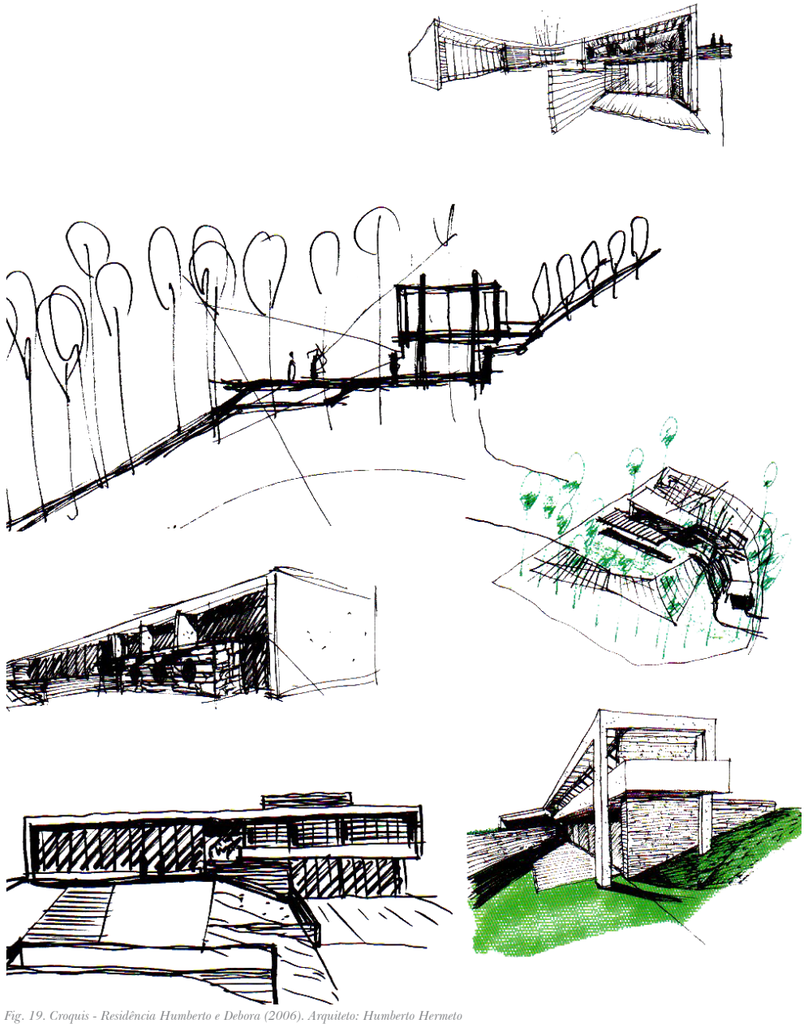


Fig. 19. Croquis - Residência Humberto e Debora (2006). Arquiteto: Humberto Hermeto

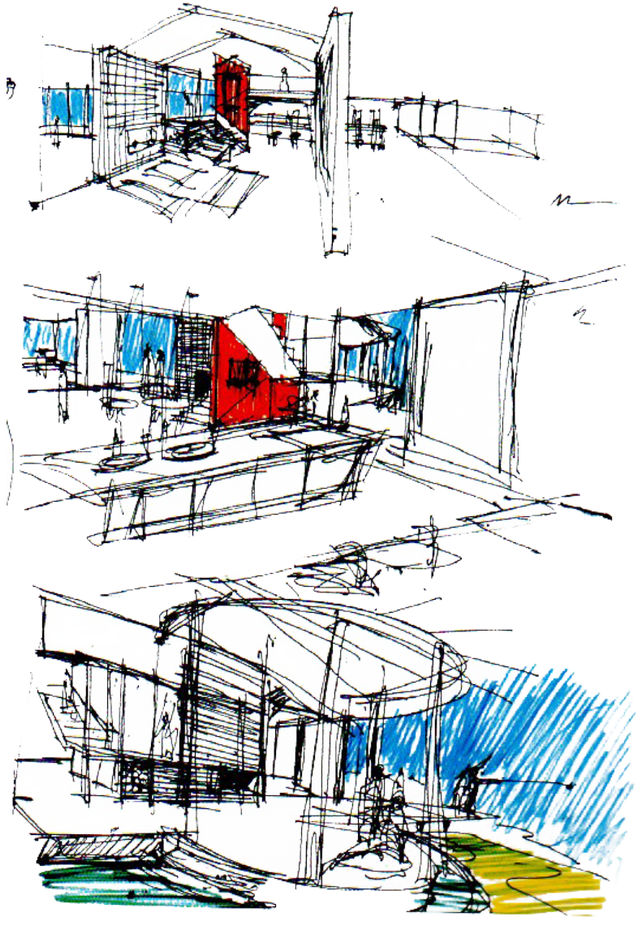


Fig. 20. Croquis de estudos- Residência Juscelino Maquiaveli (2003). Arquiteto: Cláudio Parreiras Reis

TRIDIMENSIONAL | ENSAIOS E FORMAS

Com a adição de um novo plano, a folha de papel pode adquirir novas propriedades e múltiplos formatos. Assim, o manejo e o domínio do material auxiliam na percepção espacial do arquiteto frente a um projeto.

A manipulação do papel do bidimensional para o tridimensional através de dobraduras, vincos, cortes e torções modifica o comportamento do material, apresentando certa resistência à esforços[30]. A percepção da mudança é sentida na simples tarefa de rasgar folhas de um livro. Numa primeira tentativa, com uma única folha, o material se apresenta frágil e se rompe facilmente. O mesmo experimento, desta vez com dezenas delas sobrepostas, se torna complexo, exigindo maior força para completá-lo.

Dessa forma, as mudanças em suas propriedades possibilitam a variação de seu uso. Inicialmente, enquanto bidimensional, o papel servia como base para concepção e reflexão de um projeto por meio de desenhos. Agora, de maneira similar, ao ser manuseado e ganhar forma, o mesmo passa a se autossustentar e continua sendo fundamental no desenvolvimento do projeto no que tange a compreensão tridimensional, dando materialidade àquilo que fora imaginado.

Grandes nomes da arquitetura nacionais e internacionais como, por exemplo, Paulo Mendes da Rocha e Frank Gehry se utilizam do estudo tridimensional por meio de modelos reduzidos simplificados. A maquete feita de materiais simples e acessíveis, muitas vezes de papel, faz parte dos ensaios de possibilidades na concepção do projeto, sendo tão importante quanto o desenho nos processos iniciais.

> *"[...] É a maquete como croqui. A maquete em solidão! Não é para ser mostrada a ninguém. A maquete que você faz como um ensaio daquilo que está imaginando. O croqui, o boneco, um conto. Como o poeta quando rabisca, quando toma nota. O croqui que ninguém discute.*
>
> *É a maquete como instrumento de desenho. Em vez de você desenhar, você faz maquete. [...] A maquete aqui é um instrumento que faz parte do processo de trabalho; são pequenos modelos simples. Não é pra ninguém ver."* (ROCHA, 2007, p. 22)

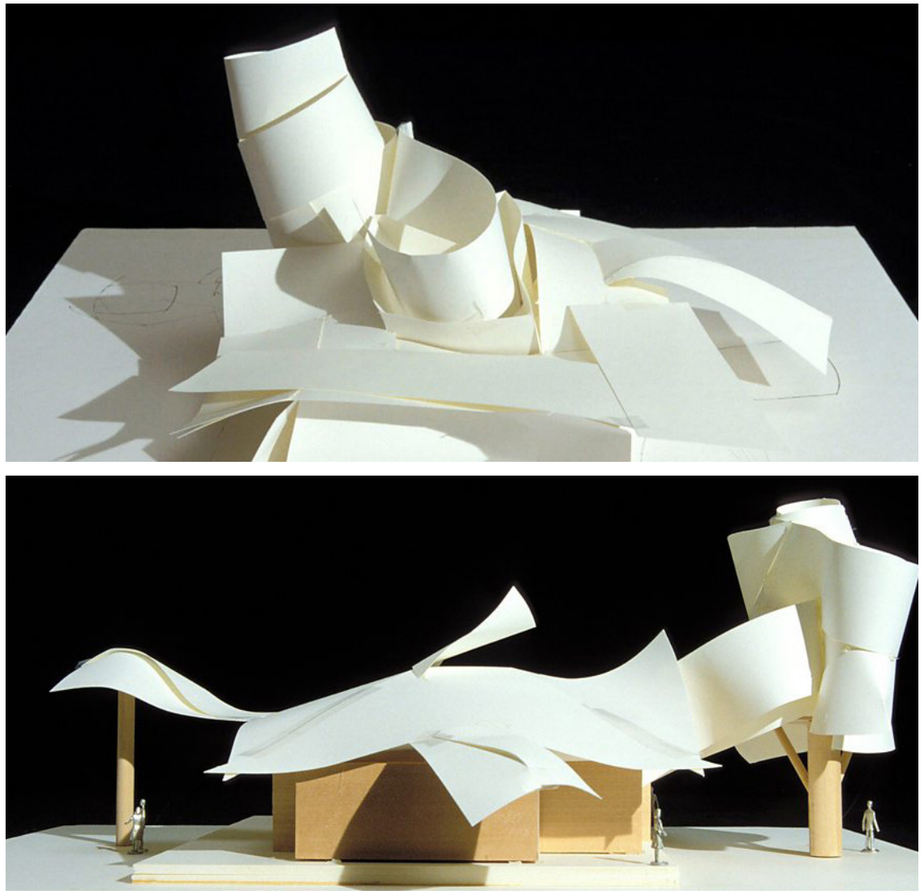


Fig. 21. Maquetes de papel - Maggie's Centre Dundee (2003). Arquiteto: Frank Gehry

Os estudos volumétricos permitem a apreciação do projeto tanto na escala micro quanto na escala macro. Ao considerar a relação do edifício de si para si, a maquete propõe a reflexão da forma e do espaço físico proposto, permitindo a visualização de diversos ângulos e promovendo a verificação de interferências entre superfícies, estudos de insolação e sombreamento e até mesmo análises estruturais. Na escala macro, os modelos são importantes para realizar um estudo de massas e o impacto do projeto no entorno[39][44][32].

Considerando o diálogo com terceiros e a apresentação do projeto, a maquete auxilia na comunicação das ideias ao cliente e ao usuário – que muitas vezes possuem dificuldades na leitura de desenhos técnicos. A forma, os materiais e as texturas são naturalmente interpretados através dos modelos tridimensionais, tornando-os essenciais na representação arquitetônica[32][50].

No entanto, é recorrente que o uso das maquetes físicas seja apenas para a apresentação do produto final, isto é, a maquete como *"artifício de venda"*, deixando de ser uma ferramenta de estudo[49]. Tendo isso em vista, a modelagem virtual tem ganhado cada vez mais espaço e, pouco a pouco, substituído o modelo físico.

> *"Não há dúvida de que a modelagem tridimensional é o único meio de representação que compartilha as qualidades inerentes e indissociáveis da arquitetura (materialidade, espacialidade e processo construtivo). E foi justamente a partir de um certo consenso quanto à importância da tridimensionalidade na representação da arquitetura que*

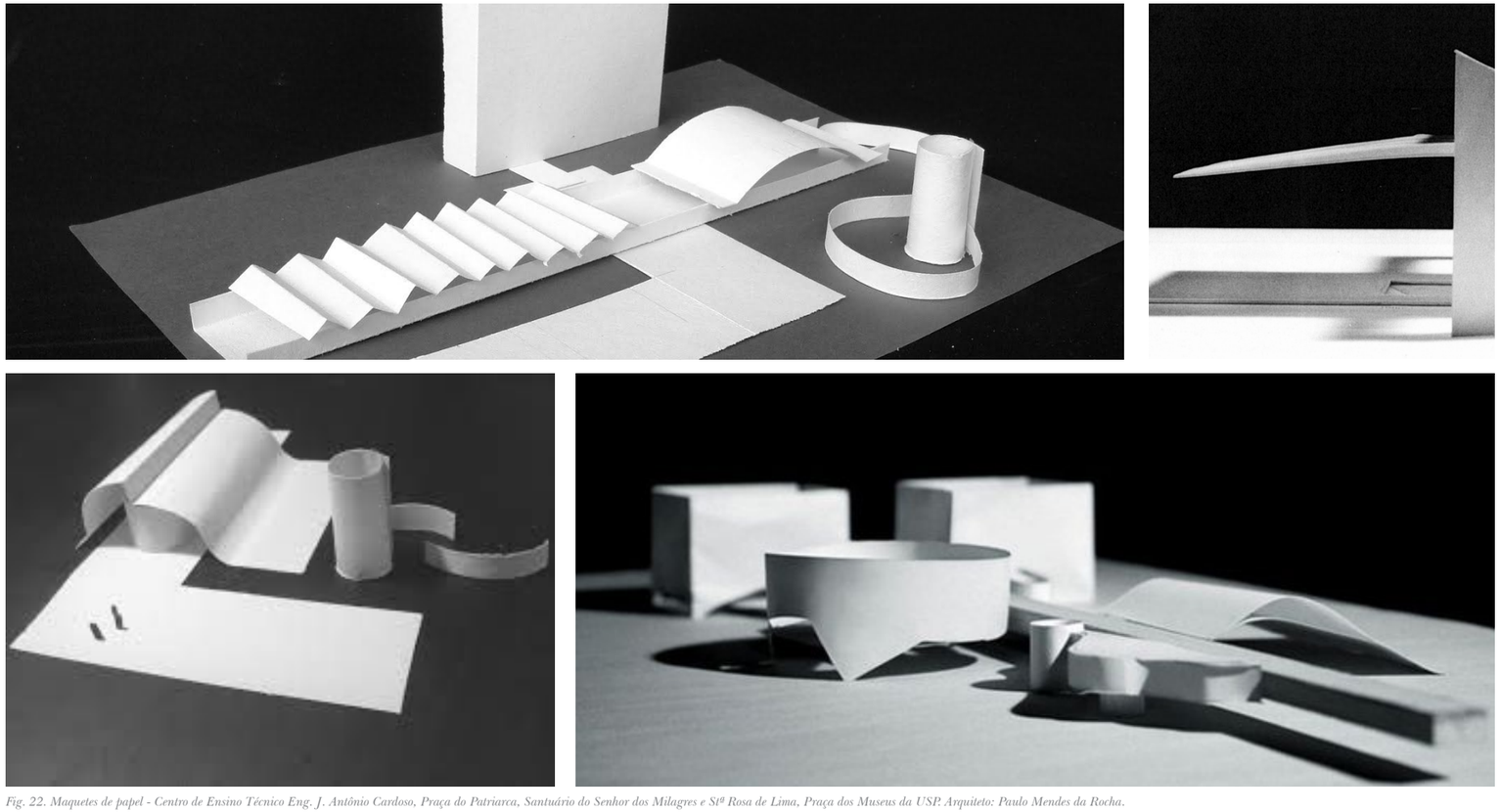


Fig. 22. Maquetes de papel - Centro de Ensino Técnico Eng. J. Antônio Cardoso, Praça do Patriarca, Santuário do Senhor dos Milagres e Stª Rosa de Lima, Praça dos Museus da USP. Arquiteto: Paulo Mendes da Rocha.

> *a super-valorização dos recursos eletrônicos eclipsou, nos últimos anos, a modelagem manual. Como visto aqui, na prática, os recursos eletrônicos 3D não resolveram – e a princípio não resolverão sozinhos – a questão da representação tridimensional."* (ROZESTRATEN, 2004)

De maneira análoga aos desenhos digitais, os modelos digitais facilitam o trabalho manual do arquiteto. Os softwares possibilitam maior velocidade e precisão durante a modelagem, permitindo que modificações que demorariam horas para serem executadas manualmente sejam feitas com poucos cliques em frente ao computador. Além disso, por meio deles, é possível verificar os mais diversos ângulos de vistas externos e internos, contribuindo ainda mais com a compreensão do projeto[15].

Embora tenha se tornado uma prática menos usual, os modelos físicos tridimensionais feitos rapidamente com materiais simples continuam sendo instrumentos importantes para estudos durante o processo de produção arquitetônica[57]. O manuseio de uma simples folha de papel e sua transformação em um croqui tridimensional é a maneira mais eficaz de materializar a ideia e experimentar as possibilidades de projeto.

> *"A idéia de prever, a idéia de maquete, portanto, é fundamental. Não tem nada a ver com técnica, tecnologia, high tech e o tempo que estamos vivendo. A maquete eletrônica, por exemplo, deve ser elaborada depois, e não substitui esse momento de experimentação, feito não só com croquis, mas também com esses pequenos modelos. Assim é possível ver melhor aquilo que se está querendo fazer, e isso é insubstituível.*
>
> *Bom, por outro lado, é preciso não confundir, nem substituir: não se substitui esse tipo de modelo singelo que você faz na solidão, em sua mesa; não precisa de ferramenta, não precisa de nada! A graça é ser esse um momento indispensável"* (ROCHA, 2007, p. 26)

TRIDIMENSIONAL | ELEMENTO ARQUITETÔNICO E CONSTRUTIVO

Na arquitetura, os derivados de papel, como papelão ondulado, tubos de papelão e painéis alveolares possuem potencial para serem utilizados na produção de itens de design de interiores, mobiliário e artesanato e, ainda, em vedações, forros e estruturas de caráter temporário e permanente

Considerando a escala de mobiliário e de itens de design, pode-se dizer que estes se enquadram numa categoria de baixa complexidade – normalmente modulares e com tendência a serem produzidos em massa. A fabricação desses produtos é quase tão antiga quanto a criação do próprio papel. Telas que se assemelham a biombos, peças decorativas de origami, luminárias de papel, guarda-chuvas e até mesmo roupas eram os produtos típicos feitos de papel na China na época[G] [34].

Nos dias de hoje, o mobiliário produzido com papelão é responsável por grande parte do mercado desta categoria. Peças renomadas como as cadeiras "*Wiggle Side Chair*" (1972) de Frank Gehry e "*Chair*" (1994) de Shigeru Ban direcionaram o olhar do público para a produção e o consumo de produtos feitos de papel. Como exemplo mais recente, tem-se as Olimpíadas de Tóquio 2020 que contou com camas modulares de papelão para equipar as moradias dos atletas na Vila Olímpica, sob o princípio de sustentabilidade que orientou toda a organização do evento.

No cenário brasileiro, os arquitetos e designers do SuperLimão Studio desenvolveram peças de decorações e móveis utilizando tubos de papelão, aliando sustentabilidade, funcionalidade e estética. Outro destaque é o artista plástico e designer Nido Campolongo que utiliza o papelão como matéria prima principal de seus trabalhos e instalações, sendo reconhecido internacionalmente[H] [55]. Igualmente relevante, desta vez no mercado da moda, foi o desfile-manifesto *"A Costura do Invisível"* do estilista Jum Nakao com peças feitas de papel vegetal. A performance se tornou um marco na São Paulo Fashion Week de 2004, maior evento de moda da América Latina.

A crescente adesão de profissionais e de consumidores ajudam a popularizar os produtos feitos com materiais alternativos, transformando pouco a pouco o mercado e as ideologias

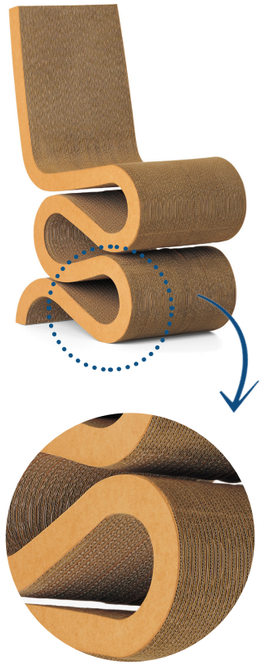


Fig. 23. Cadeira "Wiggle Side Chair" (1972), Frank Gehry

G. As referências mais antigas remanescentes a esses produtos datam do século VIII d.C. [34]

H. Após a exposição "Casa do Leitor" (2001) no SESC Belenzinho, em que todo mobiliário e ambiente eram feitos de tubos de papelão, Nido Campolongo desenvolveu um projeto de interiores para uma loja francesa, em Paris. [54]



Fig. 24. Cadeira "Chair" (1994) e outros móveis da coleção "Carta", Shigueru Ban



Fig. 25. Camas dos atletas nas Olimpíadas de Tóquio (2020)

o caracterizam. Esta mudança também é vista no campo da construção civil. A preocupação ambiental com recursos naturais e os impactos causados pelo setor direcionam para um desenvolvimento sustentável, pautado em práticas menos agressivas, buscando o equilíbrio entre as necessidades humanas e o meio ambiente. Sendo assim, o papel e seus derivados se encaixam nestes princípios. Trata-se de um material barato, leve, resistente, com alto grau de reciclabilidade e baixo impacto ambiental com potencial para aplicação como elemento estrutural.

A história do desenvolvimento da utilização do papel e seus derivados na construção civil pode ser dividida em três períodos[5]:

I. O nascimento de protótipos de construção até o início de 1990;

II. Os projetos do arquiteto japonês Shigeru Ban;

III. O desenvolvimento de protótipos contemporâneos durante as décadas recentes.

Os testes para o uso do papelão como material de construção alternativo tiveram início na segunda metade do século XIX. O papelão era empregado na construção de edificações na forma de chapas, em pequenos protótipos temporários. A exemplo das casas pré-fabricadas apresentadas pela empresa ADT na Exposição Internacional de Paris, em 1869. Três modelos de diferentes portes foram expostos. As casas foram construídas com placas de 3 m de altura e de 60-80 cm de largura, conectadas por meio de espaçadores. Além disso, as paredes eram duplas, feitas com uma camada de 4 mm de papelão de cada lado de uma cavidade de 10 cm. Estes ensaios foram fundamentais para que subsistemas de vedações, como o drywall e painéis-sanduíche pudessem ser aprimorados e amplamente utilizados nos dias de hoje[34][52].

A primeira edificação de caráter permanente feita de papel que se tem registro foi construída pelo engenheiro mecânico Elis F. Stenman, entre os anos de 1922 e 1924, nos EUA. A casa possui estrutura convencional, com piso e teto de madeira.

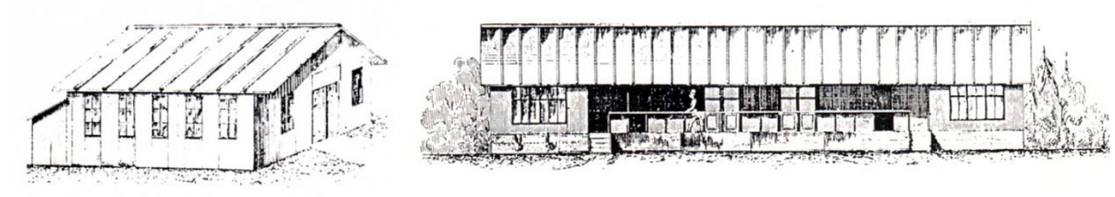


Fig. 26. Casas pré-fabricadas com chapas de papelão, ADT (1869)

No entanto, como entusiasta do material, Stenman optou por paredes feitas de jornais colados e prensados de cerca de uma polegada de espessura. Além da cola aplicada nas folhas de jornal, as paredes externas foram revestidas com verniz que garantiu uma boa impermeabilização, permitindo que a edificação resistisse bem até hoje. A *"Paper House"* foi transformada em um museu e está aberta à visitação em Rockport, ao norte de Boston, Massachusetts[12].

Cronologicamente, o segundo edifício conhecido por ser feito principalmente de papel é o *"The 1944 House"*, um abrigo emergencial projetado para amparar as pessoas atingidas pela Segunda Guerra Mundial. A construção experimental desenvolvida pelo Instituto de Química do Papel dos Estados Unidos foi produzida com papelão ondulado de uma polegada de espessura embebidos em enxofre e revestidos com tintas à prova de fogo. Com dimensões de 2,40 x 4,80 m, a unidade custava cerca de US$ 60, pesava aproximadamente 500 kg e podia ser montada por apenas um homem no período de uma hora. Os aditivos aumentaram a qualidade das chapas, tornando-as rígidas e resistentes a intempéries. Por conta deles, os abrigos de emergência que deveriam durar apenas um ano, ainda estavam em pé 25 anos após sua construção[34][52].

Na década de 1950, Richard Buckminster Fuller teve contribuição essencial para o progresso. Pode-se dizer que ele foi o primeiro designer que contemplou seriamente e trabalhou com o papelão como material de construção. O visionário realizou experimentos com o papelão de acordo



Fig. 27. "Paper House" (1924)

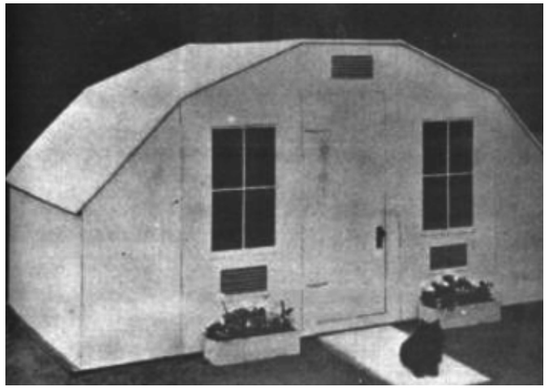


Fig. 28. "The 1944 House", Instituto de Química dos EUA (1944)

com sua filosofia *"mais com menos"*, que associa os conceitos de construção sustentável sem ignorar aspectos econômicos. Ou seja, *"fazer mais com menos recursos"*, minimizando o uso de material e maximizando a eficiência construtiva. Um dos frutos de sua ideologia foi a criação da geodésica, que durante esta primeira fase foi a melhor solução para os pontos fracos do papel, além de outras formas poliédricas e o uso de aditivos impermeabilizantes [I] [5] [12].

Apesar dos esforços, por conta da falta de pesquisa e de criação de tecnologias que suprissem as deficiências do papel, principalmente a vulnerabilidade à água e ao fogo, o desenvolvimento do papel como elemento estrutural enfraqueceu. Neste período, os protótipos se mostraram adequados apenas para edificações temporárias e de menor porte. Somado a isso, outros materiais alternativos como o plástico, a fórmica e o policarbonato ganharam maior destaque, diminuindo ainda mais o interesse no papel [5].

A segunda fase de desenvolvimento do papel na construção civil é marcada pelo uso de tubos de papelão pelo arquiteto japonês Shigeru Ban, em meados dos anos 90. Conhecido por seus abrigos temporários, os projetos de Ban, na pratica, são bastante variados. O arquiteto transita entre móveis, exposições, pavilhões, edificações educacionais, culturais e de socorro, seja de caráter temporário ou permanente. A semelhança entre eles está no uso do papel como matéria prima associado a outros materiais específicos disponibilizados na região do projeto, que minimizam o impacto de resíduos durante sua construção e demolição[53][34][12].

Os abrigos temporários e emergenciais são destinados a comunidades em situação de vulnerabilidade, muitas vezes em decorrência de desastres naturais. Essa tipologia de habitação tem como característica ser uma resposta imediata de ajuda às pessoas afetadas e, portanto, fatores como facilidade e rapidez de montagem, baixo custo, privacidade e desempenho adequado são essenciais para a eficiência do projeto.

> *"Entende-se, portanto, que projetar uma habitação emergencial adequada é importante pois, além de proporcionar teto aos desabrigados, ela pode auxiliar na recuperação das vítimas, oferecendo dignidade e melhores condições de vida para pessoas em situações extremas que podem ter perdido suas casas, pertences ou entes queridos."* (LEMES & REZENDE, 2019)

I. A proteção contra intempéries dos protótipos era feita com óleo de linhaça fervido, tintas de poliuretano, tintas à base de resinas e fibra de vidro ou concreto na superfície externa da estrutura. [5]

Os tubos de papelão se apresentam como material adequado à esta aplicação por atender aos requisitos acima descritos. Assim, dentre os abrigos de emergência projetados por Shigeru Ban destaca-se a *"Paper Log House"*. O projeto foi destinado a uma comunidade vietnamita que foi atingida pelo terremoto de Kobe, em 1995, no Japão. As casas tinham área térrea quadrada de 6 m de comprimento. A estrutura era formada por tubos de papelão de 10,8 cm de diâmetro e 4 mm de espessura, dispostos lado a lado. As fundações do projeto foram feitas com engradados de cerveja preenchidos com sacos de areia. Materiais convencionais como aço, madeira e PVC foram utilizados para fixação dos tubos e construção do telhado - que podia ser aberto durante o verão para garantir a circulação de ar. O custo de uma unidade era de aproximadamente US$ 2.000 e sua montagem podia ser feita por um grupo de 2 a 4 pessoas, em seis horas[34].

O projeto foi adaptado para outras três localidades, considerando as peculiaridades de cada região. Na Turquia, em 2000, os abrigos foram aumentados para 3 x 6 m devido ao tamanho das famílias, além do preenchimento dos tubos com resíduos de papel para melhorar o desempenho térmico. Na adaptação indiana, ocorrida em 2001, a falta de engradados de cerveja fez com que as fundações fossem executadas com escombros decorrentes do desastre e os telhados, feitos de bambu. A versão mais recente da *"Paper Log House"* foi construída nas Filipinas, em 2014. Nesta ocasião, os tubos de papelão foram utilizados como uma estrutura de suporte para as vedações de esteira de bambu produzidas localmente, que permitem a passagem de ar e luz[34].

Shigeru Ban classifica o tubo de papelão como uma *"madeira evoluída"* e mostra que com tratamento e aplicação adequada, o material pode ser usado para construir verdadeiras obras de arte, ressignificando a imagem de material fraco e efêmero.

> *"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 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 papel."* (SALADO, 2011, p. 39)











Fig. 29. "Paper Log House" - Japão (1995), Índia (2001) e Filipinas (2014), Shigeru Ban

Do ponto de vista estrutural, os projetos com tubos de papelão de Shigeru Ban mostram a variedade de aplicação em diversos tipos de sistemas construtivos. Dentre eles estão: sistemas viga-pilar, painéis portantes, painéis de vedação, estruturas em arco, coberturas portantes, tesouras e treliças planas. A versatilidade no emprego dos tubos de papelão demonstra que o comportamento estrutural não depende apenas do material, como também do caminho das forças atuantes na estrutura, evitando deformações que podem acarretar a instabilidade e menor durabilidade do sistema. Sendo assim, apesar do papel aparentar propriedades mecânicas menores quando comparado com materiais convencionais, o conhecimento do material e das técnicas a serem aplicadas para emprego adequado do papel na construção civil são fundamentais para resistência e estabilidade estrutural, fazendo com que este possua desempenho satisfatório como elemento construtivo[20].

> *"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 apud SALADO, 2011)

Diferentes percepções arquitetônicas também podem ser encontradas nos projetos de Shigeru Ban. Ao trabalhar com variações nas características dos elementos de vedação o arquiteto pôde criar composições fixas ou móveis; agrupadas ou isoladas; intercaladas, proporcionando a passagem de luz, som e ventilação; duplicadas, para potencializar o material como isolante; e, ainda, brincar com as alturas e diâmetros dos tubos de papelão, mostrando que esse material possui grande versatilidade funcional e estética, atendendo às mais diversas proposições. Além disso, os tubos de papelão não necessitam de acabamento, nem de mão de obra especializada[52].

Por sua postura frente às questões humanitárias e pelos seus projetos que relacionam sustentabilidade e inovação, em 2014, Shigeru Ban recebeu o Prêmio Pritzker de Arquitetura, o prêmio de maior prestígio no campo da arquitetura moderna. De acordo com o júri, o arquiteto foi premiado pela sua corajosa procura formal e funcional na arquitetura e pela abordagem humanitária[34].

Graças à persistência e à elucidação do arquiteto japonês, suas obras serviram de inspiração para a terceira e atual fase de desenvolvimento do papel na construção civil, gerando um aumento notável nos estudos e nas aplicações experimentais do uso do papel e seus





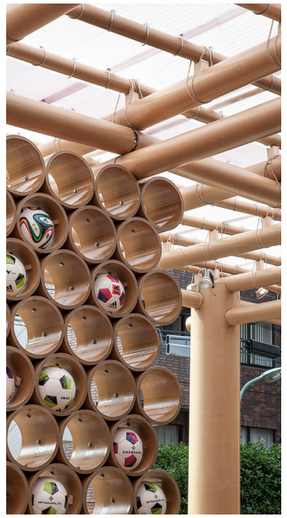


Fig. 30. Sistema Viga-Pilar - "Football Pavilion" (2014), Shigeru Ban



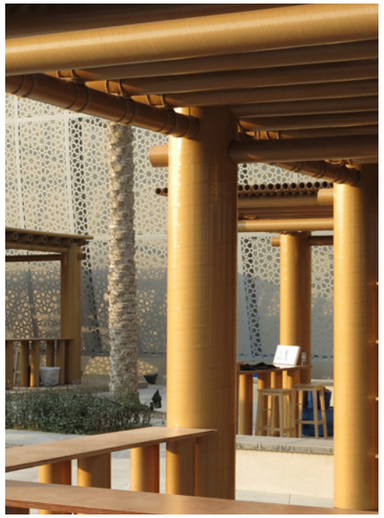




Fig. 31. Sistema Viga-Pilar - "Abu Dhabi Art Pavilion" (2013), Shigeru Ban



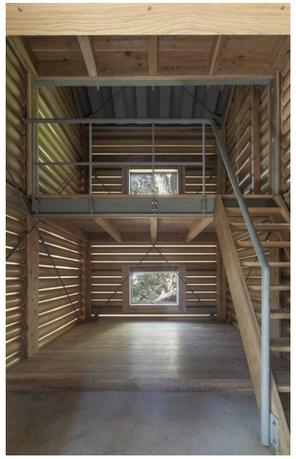




Fig. 32. Painel de Vedação - "Yakushima Takatsuka Lodge" (2013), Shigeru Ban

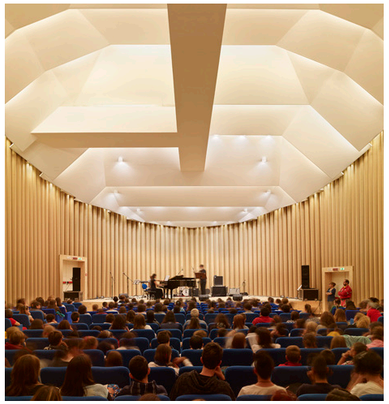




Fig. 33. Painel Portante - "Paper Concert Hall" (2011), Shigeru Ban





Fig. 34. Painel Portante - "Garage Center for Contemporary Culture Temporary Pavilion" (2012), Shigeru Ban



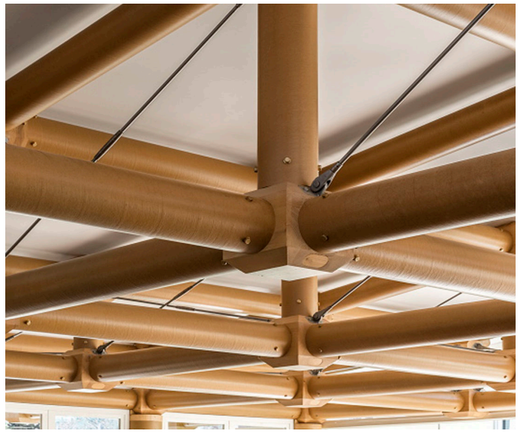


Fig. 35. Treliças- "Madrid Paper Pavilion" (2012), Shigeru Ban







Fig. 36. Arcos- "Paper Green House Les Tonnelles" (2019), Shigeru Ban



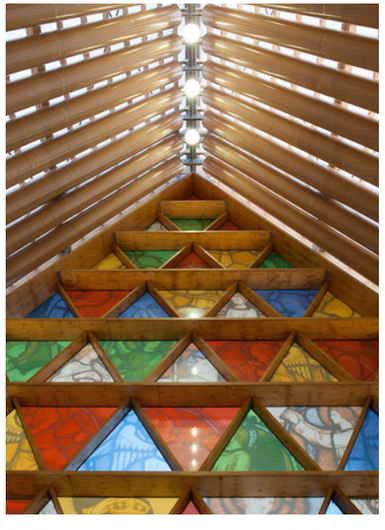




Fig. 37. Cobertura portante - "Cardboard Cathedral" (2013), Shigeru Ban







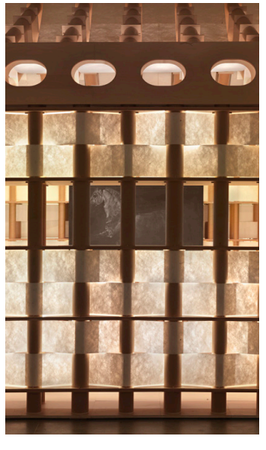


Fig. 38. "Hermes Pavilion" (2011), Shigeru Ban





Fig. 39. "Paper Tea House" (2008), Shigeru Ban

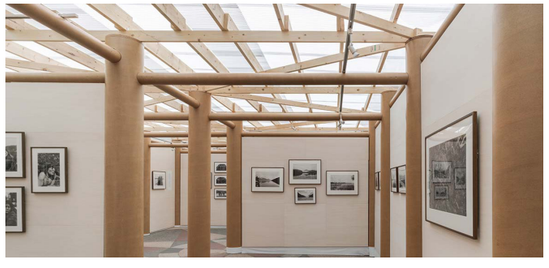


Fig. 40. "Kyotographie Paper Tube Temporary Pavilion" (2015), Shigeru Ban



Fig. 41. "Camper Traveling Pavilion" (2011), Shigeru Ban

derivados na arquitetura. Dentre os projetos concebidos recentemente, dois deles foram destacados para representar a aplicação do papel como elemento construtivo, devido ao ineditismo e à importância que os cercam.

O primeiro deles é o projeto da escola Westborough Primary School, localizada no Reino Unido e projetada pelos arquitetos Cotterel & Vermeulen, em 2001. A intenção dos idealizadores era desenvolver um projeto que demonstrasse o potencial do uso do papelão na construção civil, tivesse vida útil estimada em 20 anos, fosse 90% reciclável e construído com materiais recicláveis. Os elementos básicos utilizados na construção foram: painéis de papelão para composição das paredes e do teto do edifício e tubos de papelão, aplicados como colunas estruturais. No estudo de caso desenvolvido por Andrew Cripps[J], foram apresentados os desafios e as soluções adotadas para que o projeto se tornasse realidade. Medidas para combater a vulnerabilidade do material na presença de fogo e umidade foram tomadas, como a adição de retardadores de chamas e o revestimento dos tubos com uma mistura de fibrocimento. O edifício possui área de 80 m²e custou £ 177.000[12][16].

Outro exemplo de aplicação do papel na construção civil que está contestando os princípios da arquitetura convencional é a Wikkelhouse. Elaborada pela empresa holandesa Fiction Factory em 2015, o projeto consiste em módulos individuais que podem ser interligados para formar um edifício. Cada módulo pesa cerca de 400 kg e possui 3,5 m de altura, 5,5 m de largura e 1,2 m de profundidade. Sendo assim, a área útil de piso de um módulo é de cerca de 5 m². A casa pode ser montada com quantos módulos forem necessários, sendo recomendado pelo menos cinco deles – incluindo os módulos especiais de cozinha e banheiro. O principal material é o papelão ondulado empregado como um painel-sanduiche de 24 camadas, coberto com uma camada impermeável de polipropileno. A casa pode ser construída em apenas um dia e, devido à sua leveza, não são necessárias fundações, podendo ser transportada facilmente. Os módulos foram projetados para durar pelo menos 50 anos e ser 100% reciclada após o uso. O custo de três módulos é cerca de € 25.000, sem o preço de instalação e transporte. Para garantir a alta qualidade e a personalização do projeto de acordo com os clientes, a empresa produz apenas doze casas anualmente[12].

J. Engenheiro consultor da Buro Happold, empresa responsável pela parte estrutural do projeto da escola Westborough Primary School.



Fig. 42. "Wikkelhouse" (2015), Fiction Factory







Fig. 43. "Westborough Primary School" (2011), Cotterel & Vermeulen

Concomitantemente ao crescimento da utilização prática do papel na construção de edifícios, o tema tem ganhado força no meio acadêmico. Institutos como ETH-Zurich na Suíça, The Architectural Association no Reino Unido, e TU Delft na Holanda têm conduzido pesquisas teóricas e experimentais acerca do emprego do papelão como um elemento construtivo[5]. Diretamente, os ensaios asseguram a viabilidade de sua utilização e, indiretamente, também servem de incentivo para seu uso, para a produção de conhecimento e para a popularização do tema. As pesquisas recentes, utilizadas inclusive como referências deste trabalho, se concentram em vários aspectos da aplicação do papel, considerando os parâmetros de conforto, segurança e durabilidade, além da influência de diferentes combinações e composições do material.

No âmbito do conforto, os principais aspectos analisados são os desempenhos acústico e térmico do material. Os artigos acadêmicos desenvolvidos por Asdrubali et al. (2015) e Russ et al. (2013) verificaram em laboratório a eficácia do material como isolante a partir da variação no número de camadas, na espessura das placas e na orientação das caneluras. De acordo com os resultados, o papelão não apresenta comportamento acústico competitivo em relação aos materiais comumente utilizados para esta finalidade, sendo eficaz apenas para algumas frequências devido à limitação de porosidade[K]. Neste caso, o material funcionaria melhor ao ser aplicado como painel, a uma certa distância da parede. Em suma, o desempenho acústico do papelão é melhorado com o aumento da espessura total, sendo a capacidade de isolamento superior à de absorção. Quanto às características térmicas, o papelão apresenta valores de condutividade térmica[L] maiores do que os materiais de isolamento utilizado, indicando um comportamento inferior. No entanto, os resultados ainda são comparáveis aos materiais de origem natural, como a cortiça. Os ensaios de variação de espessura total e orientação das camadas não apresentaram diferenças significativas para o desempenho térmico.

Grande parcela das pesquisas realizadas nos últimos anos são referentes ao comportamento mecânico e estrutural do papel, visando responder aos questionamentos de segurança e durabilidade. Conforme dito anteriormente, é difícil prever como será o comportamento de certos produtos derivados do papel, principalmente quando são reciclados. Dessa forma, é necessário que uma amostra seja submetida a testes para verificação da qualidade do material. Muitas das propriedades e das vulnerabilidades inerentes à matéria prima apresentadas previamente também são observadas em seus derivados.

Os produtos de papelão utilizados como elementos estruturais apresentam força, estabilidade e rigidez consideráveis em comparação com os materiais convencionais da construção civil. O principal desafio para sua aplicação é combater a suscetibilidade ao fogo e à umidade, sem que sejam aplicados materiais ou aditivos que comprometam seu desempenho estrutural e seu impacto reduzido no meio ambiente, por ser derivado de uma matéria prima natural, renovável e reciclável. Estes são os tópicos frequentemente explorados por pesquisadores da indústria de tecnologia do papel.

A produção acadêmica em relação ao uso do papel e seus derivados é extremamente inferior quando comparada aos materiais convencionais. No Brasil, o tema é ainda menos debatido e os estudos na área são, majoritariamente, de caráter teórico. Gerusa de Cássia Salado, atual Professora Doutora da Unicamp, é uma das precursoras no estudo do uso de papelão na construção. Através da minuciosa análise dos tubos de papelão utilizados por Shigeru Ban, a professora desenvolveu teses e artigos acadêmicos acerca da viabilidade da aplicação no cenário brasileiro. Em sua tese de doutorado, Salado propôs um painel de vedação vertical e a análise do mesmo frente às questões de desempenho técnico e estrutural. O estudo demonstra a viabilidade do uso desse material, alinhando baixo custo e qualidade – desde que sejam respeitadas e aperfeiçoadas as limitações do material[53].

K. Em termos acústicos, a porosidade é fundamental para a absorção sonora. Quanto maior a porosidade, mais fortes são as interações entre o material e o ar, levando à atenuação da energia sonora devido ao atrito. No caso do papelão, apesar de haver vazios entre as caneluras, estes não estão interligados, dificultando o alcance do som, que ao contrário de ser absorvido é refletido.

L. Materiais com menor condutividade térmica apresentam maior isolamento térmico. Assim, a perda ou o ganho de calor são dificultados, garantindo a manutenção da temperatura interna sem a necessidade de climatizadores.

M. As propostas e os projetos que utilizam tubos de papelão como elemento estrutural costumam ser térreas, havendo pouquíssimo material que explora seu uso em edifícios de maior porte vertical.

Outra pesquisa nacional de destaque é o Projeto Vida Longa desenvolvido pelo engenheiro Luis Otto Faber Schmutzler. O projeto tem como objetivo o reaproveitamento de embalagens *"longa vida"* para aumentar o conforto térmico nas edificações. A embalagem é composta por 75% papelão, 20% plástico e 5% alumínio, sendo a última a parcela responsável por agir como refletora do calor incidente no edifício. A proposta é a transformação do material na forma de mantas feitas com as caixas coladas lado a lado para serem aplicadas sob telhados e na forma de persianas e cortinas, refletindo o calor e a luz solar nas aberturas. Os testes realizados demonstram que o projeto possui grande potencial, sendo capaz de reduzir a temperatura das superfícies em até 20 oC, aproximadamente[59].

Existe ainda o trabalho de Mirian Sayuri Vaccari que consiste na proposição de uma habitação ecológica e econômica em papel. O projeto tem como partido a utilização de tubos de papelão para a composição de vigas e pilares; painéis sanduíche compostos por duas camadas de papelão e preenchidos com colmeias de papel kraft formam o sistema de vedação das residências; e embalagens *"longa vida"* formam a cobertura. A habitação é totalmente modular, facilitando a montagem racional e rápida de cada unidade, com diferencial pela proposição de uma estrutura de dois pavimentos[M] [64].

Diante do exposto, a utilização do papel e derivados na construção civil é uma pratica relativamente recente – principalmente se comparado aos materiais tradicionais como concreto e aço. A iniciativa de Shigeru Ban trouxe um novo olhar sobre o tema, mostrando que através da aplicação de técnicas adequadas e de estudos que embasem as possibilidades construtivas deste material é viável o uso do papel como elemento estrutural e arquitetônico nos mais variados sistemas e composições. Assim, parafraseando o arquiteto japonês, não se trata de inventar algo novo, mas usar os materiais existentes de maneira diferente. Este é o objetivo da produção acadêmica sobre o tema, por mais que ainda em crescimento, os estudos comprovam que o papel é uma alternativa de desenvolvimento sustentável da construção civil, explorando mais uma faceta deste material milenar.

capítulo III

uma alternativa sustentável

UMA ALTERNATIVA SUSTENTÁVEL

Desde o princípio, o desenvolvimento humano se baseia na utilização de recursos naturais para garantir seu sustento, moradia, energia e demais materiais que contribuem para uma melhor qualidade de vida. O desequilíbrio entre as necessidades humanas e capacidade de resiliência do meio ambiente tem se mostrado cada vez maior, evidenciado pelo aumento no número de congressos, pelas legislações mais restritivas e pela constante abordagem do tema em instituições de ensino. A postura dos estudiosos frente aos impactos antrópicos se pauta na consciência ambiental global afim de evitar, para os mais radicais, a auto extinção[45][42].

As preocupações acerca deste descompasso entre o rápido crescimento populacional e a limitação na oferta de recursos são destacadas desde a Idade Média, no entanto, ganharam força apenas no final do século XX. Ainda que Malthus, em 1798, tenha enfatizado a questão, o otimismo tecnológico do pós Revolução Industrial e evidenciado nos pós Segunda Guerra se pautava no pensamento de que a ciência seria capaz de resolver qualquer problema, menosprezando as consequências dos atos humanos. Somente nos anos 1960 que movimentos com ideais sustentáveis nascem a partir da mobilização intelectual, militante e política[9].

O ano de 1972 foi um marco na história do desenvolvimento sustentável, com a ocorrência de dois acontecimentos fundamentais para o aperfeiçoamento da discussão. O primeiro deles foi o lançamento do livro *"Os Limites do Crescimento"*, escrito pelo Clube de Roma – um grupo de intelectuais com o objetivo de analisar os efeitos do crescimento demográfico no meio ambiente. Este estudo trata de problemas cruciais da evolução humana, como poluição, saneamento, alimentação, saúde e crescimento populacional, e conclui que seu descontrole *"provocaria uma crise sem precedentes na história humana"*[41].

Ainda neste ano, ocorreu a Conferência das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento e Meio Ambiente Humano, em Estocolmo. Com a premissa da redução da emissão de gases poluentes, a reunião estipulou uma lista de ações a serem consideradas pelas nações envolvidas, com destaque às responsabilidades dos países ricos com a redução do consumismo exagerado e às dos países pobres com o controle populacional. A partir deste debate, foi perceptível que além do vínculo entre os problemas ambientais com questões econômicas, existe também a presença de uma dimensão social[45][42][9].

Considerando a análise posterior aos acontecimentos, entende-se que as medidas tomadas não foram condizentes com o necessário. As providências das nações estavam limitadas ao seu próprio território, com mecanismos de regulação nacional[N], enfatizando a falta de cooperação internacional e de consciência de interdependência entre os envolvidos. Diante deste cenário, foi elaborado o Relatório de Brundtland, em 1987, intitulado como *"Nosso Futuro Comum"*, ponto de partida para a definição do conceito de desenvolvimento sustentável[36].

Na definição formal da ONU, divulgada neste contexto, o desenvolvimento sustentável é *"aquele que atende as necessidades do presente sem comprometer a possibilidade de as gerações futuras atenderem as suas próprias necessidades"*. A definição apresenta força ao incluir a noção de intergeracionalidade, associando-a à justiça social, ao considerar as desigualdades sociais, e aos valores éticos, ao destacar o compromisso com as próximas gerações. Contudo, pode ser considerada como uma "fórmula vaga", por não esclarecer quais são as necessidades atuais e as futuras. A imprecisão da definição e a complexidade do tema dá abertura para cada um inserir mais detalhes dos aspectos que lhe convém[42].

> *"À medida que o debate da sustentabilidade vai se tornando mais complexo e é difundido socialmente, ele vai sendo apropriado por diferentes forças sociais que passam a lhe imprimir o significado que melhor expressa seus valores e interesses particulares."* (LIMA, 2003 apud ARRUDA & QUELHAS, 2010, p. 56)

Neste trabalho entende-se como desenvolvimento sustentável a noção comum e convergente do conceito, devendo ser aquele que é apoiado no tripé: economicamente

N. Como resposta e exemplo nacional, tem-se a Secretaria Especial do Meio Ambiente, criada em 1973.

viável, socialmente justo e ecologicamente equilibrado[9].

Anos mais tarde à divulgação do Relatório de Brundtland, ocorreu a Conferência do Rio, em 1992. A segunda conferência mundial organizada pela ONU e popularmente conhecida como Rio-92 foi de extrema importância para a mobilização internacional das nações e dos indivíduos. Nela foram discutidos os planos de ações para preservação dos recursos ambientais e medidas para eliminar as desigualdades entre os países. Como resultado, tem-se a Agenda 21 com recomendações de estratégias de conservação e desenvolvimento sustentável, estabelecendo a importância global do tema e necessidade de colaboração coletiva. Dez anos depois, em Johanesburgo, ocorreu a Rio+10, com o objetivo de fazer um levantamento dos acordos firmados na Rio-92. Através dela, ficou evidente a piora nos índices socioambientais e a redução do auxílio dos países ricos ao desenvolvimento dos países pobres. Além disso, pouco se avançou na preservação do meio ambiente[41][36].

Frustração e retrocesso ainda maiores ocorreram na Rio+20, minimizando as atribuições de responsabilidades futuras

> *"Com a Rio+20, ficou patente a hipótese de submissão da natureza na intervenção com o homem, ou seja, o antropocentrismo; houve o esvaziamento da criticidade do status quo, não questionando, portanto, os fundamentos que dão sustentação à sociedade capitalista."* (LIRA & FRAXE, 2014, p. 3177)

Pode-se dizer que ao longo dos anos, a discussão acerca da sustentabilidade tem sido demasiadamente teórica, enfrentando dificuldades para ser um conceito unânime e se afastando de práticas eficazes para o desenvolvimento consciente. Ademais, destaca-se a insuficiência das três dimensões do desenvolvimento sustentável. Apesar de essenciais, as dimensões ambiental, econômica e social devem ser complementadas, a exemplo, das dimensões política e cultural. Quanto à primeira, é impossível despolitizar o desenvolvimento sustentável sendo que existe a esfera do poder e dos conflitos de interesse – essenciais para implementação (ou não) de práticas e políticas públicas. A dimensão cultural, por sua vez, é necessária para possibilitar as mudanças no padrão de consumo e no estilo de vida, através de uma mudança de valores e comportamentos capaz de *"acolher e estimular a adoção de novas tecnologias e novas formas de viver"*[42][36].

O. Grupo de nações composto por Brasil, Rússia, Índia, China e África do Sul.

P. Entende-se como *"ambiente construído"* o ambiente modificado pelo homem que favorece a atividade humana. Neste caso, compõe o cenário o conjunto que engloba casas, edifícios, infraestruturas, ruas, entre outros.

Outro aspecto a ser pontuado é a crescente importância dos países emergentes. Em especial, os BRICS[O] possuem papel de destaque no futuro da economia. Juntas essas nações compõem metade da população mundial e detêm grande parcela dos recursos naturais. Por conta da sua escala, seu desenvolvimento pode impactar significativamente todo o mundo. A busca por um equilíbrio entre a produção e o consumo e a melhoria da qualidade de vida da sua população é o ponto chave para o desenvolvimento sustentável global[9].

A ARQUITETURA E O MEIO AMBIENTE

A modificação da natureza e a utilização de recursos naturais para satisfazer as necessidades humanas são práticas decorrentes do avanço da sociedade. O progresso contínuo nas técnicas de transformação dos materiais básicos, como pedra, madeira, barro, areia e pele de animais, e a adaptação destes recursos possibilitam ao ser humano a criação do ambiente construído[P]. Assim como o ambiente construído está diretamente relacionado com a arquitetura, esta é intrinsicamente conectada com a construção civil, área responsável pela execução dos projetos[53].

O setor da construção civil é o que mais consome recursos naturais e impacta o meio ambiente durante toda a cadeia produtiva de uma obra. Em termos numéricos, são consumidos cerca de 75% dos recursos naturais extraídos e são produzidos de 40% a 60% dos resíduos sólidos urbanos[53]. Apesar do impacto negativo gerado pelas atividades do setor, é inegável a sua importância para o desenvolvimento socioeconômico de uma região, por exemplo através de construção de moradias, reformas de edifícios de serviços essenciais, implantação de novas infraestruturas, redes de saneamento básico e movimentação do mercado de trabalho.

Diante da inquietação mundial frente a um desenvolvimento sustentável, a incorporação de práticas ambientais e eficientes têm ganhado força e sua incorporação nos projetos é uma tendência mundial crescente. A Agenda 21 engloba aspectos da construção civil no que diz respeito ao gerenciamento e às organizações de processos, à qualidade ambiental de edifícios e à redução de consumo de recursos naturais. Sendo assim, é fundamental a

busca por uma construção sustentável a partir da compreensão de parâmetros e práticas condizentes com este cenário.

> *"De acordo com o Conselho Internacional para Pesquisa e Inovação em Construção – CIB a construção sustentável deve partir de um "processo holístico para restabelecer e manter a harmonia entre os ambientes naturais e construídos e criar estabelecimentos que confirmem a dignidade humana e estimulem a igualdade econômica"* (CIB/UNEP-IETC, 2002 apud MOTTA & AGUILAR, 2009).

Dessa forma, a construção sustentável é aquela que se encaixa nas dimensões ambiental, econômica e social presentes no desenvolvimento sustentável. Práticas como reduzir o impacto ambiental no entorno; diminuir o retrabalho e desperdício por meio de uma gestão sustentável da implantação da obra; garantir a qualidade do produto com conforto para o usuário final aproveitando as condições naturais locais; reduzir o consumo de energia e água; usar matérias-primas que contribuam com a ecoeficiência do produto final, considerando também reduzir, reutilizar, reciclar e dispor corretamente os resíduos sólidos na etapa de demolição/desmontagem da obra; e, ainda, a conscientização dos envolvidos são essenciais pra garantir o desenvolvimento sustentável do setor da construção civil[45][41].

Estas questões já haviam sido pautadas por arquitetos renomados como Norman Foster, que em 1990 publicou um artigo propondo uma análise crítica dos impactos causados pelas construções, concluindo que antes de buscar as respostas, é preciso fazer as perguntas certas: *"Porque ocupar novas áreas, quando podemos recuperar áreas? Porque demolir edifícios que poderiam ser utilizados para novos usos? Porque utilizar intensa iluminação artificial onde podemos aproveitar a luz do dia? Porque utilizar condicionamento de ar onde nós podemos simplesmente abrir uma janela?"*[41].

A incorporação da sustentabilidade deve estar presente durante todas as fases de projeto: idealização; concepção; projeto; construção; uso; manutenção; e final da vida útil. Atualmente, o principal impulso para a adesão de práticas sustentáveis são as exigências para a certificação ambiental[Q]. Apesar de estimular mudanças no setor da construção civil, a execução dos requisitos impostos não garante necessariamente a sustentabilidade de uma edificação. Comumente, a sustentabilidade é vista como um requisito de desempenho, deixando de ser uma estratégia. Ao ser considerada como uma estratégia, pressupõe-se "a busca por descobertas, por um novo paradigma", acarretando em "um novo modelo de desenvolvimento" e, como consequência, uma mudança cultural e uma nova forma de pensar[41].

Um dos recursos a serem considerados para a redução dos impactos das construções está em repensar os materiais utilizados, considerando seus atributos e origens. Os materiais convencionais da construção civil muitas vezes possuem matérias-primas de fontes não-renováveis – como exemplo a extração dos minerais naturais que dão origem aos materiais cimentícios, que são fundamentais para a produção de concreto. A conscientização e a escolha pelo emprego de *"materiais verdes"*[R] em detrimento do uso abusivo de recursos naturais são de extrema importância para o desenvolvimento sustentável do setor.

> *"Como a escolha dos materiais de construção afeta o impacto ambiental de uma edificação, deve-se buscar a seleção de materiais e componentes que estejam o mais perto possível de seus estados naturais, ou seja, aqueles que necessitam de menor número de acabamentos ou beneficiamentos. Outro fator a ser considerado é a energia incorporada a cada material, onde o transporte e a vida útil do produto influem. Quanto mais locais e menos processados forem os materiais, menor será o transporte, a energia de fabricação e a poluição, menor será o impacto negativo e melhor será para o mercado de trabalho local".* (ROAF, 2006 apud OLIVEIRA, 2015)

Assim, devem ser considerados alguns parâmetros que norteiam a sustentabilidade dos materiais. Os critérios ambientais envolvem a escolha de um material que possui como matéria prima recursos inesgotáveis, substituíveis e/ou renováveis, considerando o potencial de regeneração da fonte. Além disso, é necessária uma análise do grau de poluição e toxicidade e também da energia incorporada em sua produção. Outro fator ambiental relevante é a durabilidade do material, uma vez que quanto mais tempo este durar, maior será a vida útil da edificação, evitando impactos associados a reformas e substituição de componentes. Quanto aos critérios sociais, deve-se eliminar a informalidade recorrente no setor tanto nas atividades de extração e produção, como no respeito ao direito dos trabalhadores. Os critérios econômicos, por sua vez, devem ser considerados durante todo o ciclo de vida da edificação, principalmente nas etapas de uso e manutenção quando costumam ser negligenciados[45].

Q. As certificações ambientais como o LEED e o AQUA atestam o cumprimento de requisitos pré-determinados por elas, garantindo uma construção sustentável a partir da implementação dos mesmos. Um empreendimento com certificação ambiental é bem visto pelo público geral ao demonstrar o respeito com o meio ambiente, aumentando o valor agregado do edifício.

R. Os materiais verdes são aqueles que apresentam menor impacto ambiental, por serem oriundos de fontes renováveis e de processos produtivos menos agressivos. Inclui-se aqueles que podem ser obtidos pelo reaproveitamento de materiais que seriam descartados.

Embora o potencial do uso de materiais alternativos, a adesão ainda é baixa e vista como ousada. O conservadorismo da área exige maior experiência e pesquisa acerca do tema para que seja afirmada sua viabilidade. Além disso, os princípios culturais da população e a carência na difusão do conhecimento implicam na dificuldade em aceitar transformações no estilo de desenvolvimento, enfatizando a necessidade de mudanças comportamentais e compatibilidade culturais para que seja possível a incorporação de práticas mais sustentáveis.

O PAPEL E O MEIO AMBIENTE

O papel geralmente é associado a um material ecologicamente correto. Isto se dá por sua produção ser oriunda de madeira de reflorestamento, além de ser renovável, reciclável e biodegradável. Anualmente são produzidas cerca de 400 milhões de toneladas métricas de papel. Ao considerar que grande parte dos produtos derivados do material possuem uso efêmero e são totalmente descartáveis após seu uso, é de se imaginar que um grande volume de produção acarreta num grande volume de descartes. Dessa forma, pode-se dizer que o ciclo de vida do papel está diretamente relacionado com a natureza, podendo exercer efeitos positivos ou negativos, a depender dos aspectos envolvidos em sua produção e destinação final[13].

No que diz respeito aos recursos naturais utilizados para a produção do papel, os principais impactos estão relacionados com o consumo de água e a extração de madeira. Conforme dito anteriormente, as principais matérias-primas usadas na fabricação do papel são as fibras vegetais e o papel reciclado. Para a formação da polpa, uma grande quantidade de água é necessária. No entanto, nas etapas de drenagem e secagem, a maioria deste recurso é recuperada e reutilizada no processo. Assim, apenas uma pequena parte é de fato consumida.

Por outro lado, a produção e a extração de madeira sempre causarão um impacto sobre o meio ambiente. As madeiras de reflorestamento são plantadas com a intenção de sua retirada e dentre os benefícios de sua utilização estão a proteção da extração de árvores nativas, a recuperação de solos inutilizados e a garantia da qualidade. Contudo, o aspecto comercial exige uma rápida produtividade das plantações, exigindo um crescimento acelerado e uma grande área para logística de rotação. Para isso, um grande volume de água é destinado à irrigação das árvores e, por serem plantadas sempre as mesmas espécies, a prática pode acarretar no esgotamento dos nutrientes do solo – que muitas vezes são substituídos de maneira artificial.

Destaca-se a importância de se utilizar fornecedores certificados, com gestão adequada do plantio e extração e regulamentados pelos órgãos responsáveis. Medidas como a variação do cultivo, a diversificação do uso econômico, a inclusão de pequenos produtores, a modernização das atividades florestais e o suporte ao mercado local e à criação de empregos são essenciais para alcançar a sustentabilidade nesta etapa do ciclo de vida[34][13].

Outra característica importante para a sustentabilidade do papel é a sua reciclabilidade. O processo de reciclagem é similar ao de produção com fibras virgens, porém com menor impacto ambiental. A quantidade de energia requerida para a reciclagem varia de um sexto a um terço da quantidade de energia para a produção com fibras virgens. Ademais, metade da quantidade de água é utilizada e menos produtos químicos são necessários. Vale ressaltar que as fibras só podem ser reaproveitadas de cinco a seis vezes, uma vez que têm a sua estrutura original alterada e, consequentemente, suas propriedades[34][4].

Os produtos de papelão feitos de papel reciclado são aproximadamente 40% mais fracos do que os feitos de papel virgem. Para a utilização do papelão como um material construtivo, é requerido o aumento da sua qualidade por meio de aditivos, enchimentos, revestimentos e adesivos que melhoram a sua resistência e impermeabilização. No entanto, deve-se atentar para que estes sejam facilmente removidos no momento de descarte, para não impossibilitar a reciclagem, nem possuam grande impacto ao meio ambiente para não descaracterizar a qualidade *"verde"* do material[34].

A energia incorporada, a energia operacional e a durabilidade do material também deve ser consideradas na análise de sustentabilidade. A energia incorporada é aquela consumida pelos processos associados à produção do material, desde a mineração e processamento de recursos naturais até a fabricação, transporte e entrega do produto. Neste sentido, os fatores relacionados com transporte podem ter um impacto significativo na energia incorporada do papel. Tanto as matérias primas, quanto as aparas e os descartes dependem

da locomoção para uma fábrica de papel, seguida para uma de produção dos derivados e, por último, ao local de construção[34].

Apesar da grande quantidade de energia incorporada que o material pode ter, por outro lado, a energia operacional compensa e equilibra a energia total do ciclo de vida do papel. Entende-se como energia operacional aquela consumida por sistemas de iluminação, refrigeração e aquecimento e demais aparelhos. Em resumo, pode-se dizer que a energia incorporada é gasta uma vez durante o estágio inicial de construção, enquanto a energia operacional é usada continuamente ao longo da vida útil do edifício. Sob esta ótica, o consumo operacional de uma edificação feita em papel pode ser bastante reduzido por conta do seu bom isolamento térmico e pelas possibilidades de aproveitamento das condições naturais de iluminação e ventilação que o material oferece[34].

Quanto à durabilidade, ainda é imprecisa a estimativa de vida útil máxima dos edifícios feitos em papelão pela falta de estruturas construídas. A julgar pelos poucos exemplos, presume-se uma média entre 15 a 20 anos. Cabe dizer que a depender do derivado escolhido para uso na arquitetura, a manutenção ou até mesmo a substituição de componentes é relativamente fácil, como o caso dos tubos de papelão - podendo assim, estender a vida útil da construção. Outra causa para a menor durabilidade, quando comparada aos materiais convencionais é a carência de tecnologias níveis satisfatórios de desenvolvimento, o que limita seu uso em obras temporárias, espaços internos e demais usos em que os tratamentos com aditivos não sejam de extrema importância[11].

Em relação a dimensão econômica, sabe-se que o papel e o papelão não necessitam de processos sofisticados para sua fabricação e reciclagem, o que os torna bastante atrativos economicamente. A rapidez e a facilidade na execução da obra e a dispensa de acabamentos também contribuem para a diminuição de custos no projeto. No caso da aplicação dos tubos de papelão como vedação, a economia pode chegar a 33% e o tempo de execução pode ser reduzido em 82%, quando comparados à uma parede de alvenaria de blocos cerâmicos convencionais[53].

Somado a isso, nota-se que a indústria global do papel tem feito um grande esforço nos últimos anos para tornar sua produção mais sustentável. No Brasil, a indústria de celulose e papel destaca-se entre os setores que mais evoluíram na implantação de práticas sustentáveis. As evoluções mais expressivas estão divididas em duas frentes. A primeira delas diz respeito ao avanço em soluções que aumentam a produtividade das plantações, ao passo que diminuem o consumo de água e outros nutrientes. A segunda está relacionada ao aumento na eficiência operacional nos parques industriais, a partir do investimento em tecnologias e aprimoramento dos métodos produtivos. Conforme dito anteriormente, o Brasil é um dos grandes produtores e exportadores de papel no mundo e, ainda, apresentou índice de reciclagem de 66,6%, em 2019, de acordo com dados da Associação Nacional dos Aparistas de Papel (ANAP)[14].

Sendo assim, é evidente o potencial do papel, papelão e seus derivados em contribuir para a realização de obras mais sustentáveis, devido ao seu caráter de material reciclado e reciclável que permite construções de baixo custo e ambientalmente favorável. Além disso, o Brasil possui lugar de destaque na produção e reciclagem do material, criando um cenário favorável tanto para a incorporação dos derivados de papel como material alternativo da construção civil quanto para o suporte à pesquisa acerca do tema, ajudando a disseminar conhecimento e tecnologias inovadoras.

reflexão

papel, arquitetura e sustentabilidade

UMA REFLEXÃO: PAPEL, ARQUITETURA E SUSTENTABILIDADE

A invenção do papel transformou diversos aspectos do cotidiano humano, possuindo hoje múltiplos usos no dia a dia. A versatilidade do material é possível por conta da grande variedade de tipos em que ele pode ser encontrado. Dependendo da sua composição, ele pode ser encontrado com diferentes aspectos: gramatura, espessura, cor, textura, brilho, acabamento, rigidez, permeabilidade, dentre muitos outros. De maneira geral, o papel é um material não-homogêneo, anisotrópico, não-linear e higroscópico. Estas propriedades estão diretamente relacionadas com as potencialidades e as vulnerabilidades de seu desempenho, dependendo da aplicação.

Neste trabalho foram destacadas algumas das utilizações do material na arquitetura, explorando-o como uma ferramenta para o arquiteto no amadurecimento e na concretização de um projeto de acordo com as dimensões de sua forma.

Começando pelo plano bidimensional, a folha de papel é vista como uma superfície de concepção, desenvolvimento e apresentação de projeto, sendo utilizada principalmente para expressão e comunicação de ideias. Na arquitetura, a representação se dá majoritariamente através de desenhos. O desenho é capaz de traduzir aquilo que é dificilmente compreendido com palavras. Sendo assim, através do papel a ideia é materializada, trabalhada e transmitida. E, por meio dele, o arquiteto concebe, conceitua, desenvolve, entende, apresenta e concretiza o projeto.

Ao manuseá-lo, através de dobraduras, vincos, cortes e torções, o material ganha uma terceira dimensão e adquire novas propriedades, apresentando certa resistência. Nesta nova forma, o papel confere novos olhares ao desenvolvimento da ideia, contribuindo ainda mais para ensaios de possibilidades e para o entendimento do projeto como um todo.

Apesar da ameaça digital, entende-se que o desenho feito a lápis sobre uma folha de papel e sua transformação em um croqui tridimensional por meio do manuseio do material são insubstituíveis, principalmente nas fases iniciais de projeto. A reflexão proporcionada no mundo real permite soluções mais criativas, sem as limitações condicionadas pelos softwares e possíveis confusões de escala e representação.

Pouco a pouco, o papel também tem ganhado espaço na arquitetura como matéria prima para a produção de elementos arquitetônicos e construtivos. Os produtos derivados, como papelão ondulado, tubos de papelão e painéis alveolares possuem potencial para serem aplicados como itens de design de interiores, mobiliário e artesanato e, ainda, em vedações, forros e estruturas de caráter temporário e permanente.

A escala de mobiliário e itens de design é porta de entrada para comunicar ao usuário e ao público em geral as potencialidades do papel. Ações como as da Olimpíadas de Tóquio 2020 - que contou o princípio de sustentabilidade na organização de todo o evento, possibilitando o uso de camas modulares de papelão para equipar as moradias dos atletas - são fundamentais para levar o conhecimento a nível global e possibilitar mudanças comportamentais que direcionam para o desenvolvimento sustentável.

A preocupação ambiental com recursos naturais é pautada na hipótese da autodestruição humana devido à exploração desenfreada, justificada pelo crescimento econômico. O modelo de consumo vivido atualmente tem impactos na natureza que refletem no bem estar e nas condições de vidas dos seres humanos, devendo ser repensado para que as previsões de ameaça da espécie não sejam de fato alcançadas. Uma vez que os recursos naturais se mostram insuficientes para manter o estilo de vida atual, a saída é a adoção de novos valores e costumes, mudando os padrões vividos nos dias de hoje.

Sendo a construção civil um dos setores que mais impactam o meio ambiente, é dever dos profissionais da área atentarem para soluções que se adequem a práticas menos agressivas, buscando o equilíbrio entre as necessidades humanas e o meio ambiente. Neste cenário estão inseridas as construções sustentáveis.

Uma das formas de contribuir com a sustentabilidade no setor é a incorporação de materiais *"verdes"* e o desenvolvimento de técnicas construtivas alternativas às vigentes. Como mencionado anteriormente, o papel se encaixa nestes princípios por ser um material barato, leve, resistente, com alto grau de reciclabilidade e baixo impacto ambiental.

Os primeiros ensaios para sua utilização na construção civil iniciaram na segunda metade do século XIX, no entanto, a aplicação do material ganhou força apenas com as obras do arquiteto japonês Shigeru Ban, em meados dos anos 1990. Através dos seus projetos, as possibilidades construtivas e o potencial do uso do papel como elemento arquitetônico são explorados das mais variadas formas. Sistemas viga-pilar, painéis portantes, painéis de vedação, estruturas em arco, coberturas portantes, tesouras e treliças planas são alguns dos exemplos de sistemas construtivos em que os tubos de papelão foram aplicados. A versatilidade no emprego estrutural demonstra que, ao contrário do que aparenta, o papel pode apresentar desempenho equivalente ao dos materiais convencionais, desde que sejam aplicadas técnicas e conhecimentos adequados para seu uso como elemento construtivo. Além disso, a exploração de iluminação, leveza, espacialidade e experiencias táteis a partir de diferentes composições elevam as condições arquitetônicas que podem ser alcançadas com a sua utilização, atendendo às mais diversas proposições, sem a necessidade de acabamentos, nem de mão de obra especializada.

No entanto, apesar das vantagens citadas, as limitações como a vulnerabilidade à umidade e ao fogo juntamente com o conservadorismo da área dificultam a popularização do papel e de seus derivados como elemento construtivo. Como resposta, estudos acadêmicos estão sendo realizados com a finalidade de assegurar a viabilidade do seu uso e desenvolver novas tecnologias e aditivos em sua produção que permitam sua utilização para além dos usos descartáveis (fôrmas para pilares) e temporários (abrigos emergenciais), passando a ser visto e aplicado como elemento construtivo de projetos com vida útil maior.

No cenário brasileiro, as pesquisas teóricas e os experimentos físicos são bastante limitados, podendo o tema ser considerado inédito e promissor. Por fazer parte do grupo de países emergentes, espera-se que o desenvolvimento econômico brasileiro evite reproduzir a noção deixada pelos países desenvolvidos, que obtiveram suas riquezas a partir de danos irreversíveis ao meio ambiente. Ao contrário, devem ser priorizada práticas que revertam a situação atual juntamente com medidas embasadas nas três dimensões da sustentabilidade: economicamente viável, socialmente justo e ecologicamente equilibrado.

Atualmente, o Brasil possui grande destaque na indústria de produção e de reciclagem de papel. Hoje é o sexto produtor de papel e segundo de celulose do mundo, com taxa de reciclagem de 66,6%. A incorporação do papel e seus derivados como material alternativo da construção civil é viável, sendo possível gerar sistemas construtivos com tubos de papelão em território nacional – contribuindo inclusive para carências, como o déficit habitacional e o abrigo para a população em situação de vulnerabilidade.

Exalta-se, por fim, um dos ideais semeados por Shigeru Ban. As tão sonhadas mudanças comportamentais e os *"ineditismos"* capazes de garantir um desenvolvimento sustentável não estão necessariamente relacionados com a invenção de novos materiais e novas técnicas, mas sim na utilização inovadora de materiais existentes e até mesmo recorrentes, como o caso do papel – material milenar essencial no cotidiano humano.

bibliografia

referências
e lista de figuras

REFERÊNCIAS

1. ABDEL-MOHSEN, Morad; FAGGAL, Ahmed; EL-METWALLY, Yara. Efficiency of Corrugated Cardboard as a Building Material. 2012.

2. ABNT. NBR 6492 - Representação de projetos de arquitetura. 1994.

3. ARRUDA, L.; GONÇALVES QUELHAS, O. L. Sustentabilidade: um longo processo histórico de reavaliação crítica da relação existente entre a sociedade e o meio ambiente. Boletim Técnico do Senac, v. 36, n. 3, p. 53-63, 19 dez. 2010.

4. ASSIS, J. R. M.; SALADO, Gerusa de Cássia. Considerações sobre a sustentabilidade no processo de fabricação do material. In: VII Encontro de Sustentabilidade em Projeto - ENSUS 2019, 2019, Florianópolis. Anais do VII Encontro de Sustentabilidade em Projeto - ENSUS 2019, 2019.

5. AYAN, Öslem. Cardboard in architectural technology and structural engineering: a conceptual approach to cardboard buildings in architecture. Tese (Doutorado). ETH Zurich, 2009.

6. BATLLE, Alexandre O. O papel do desenho na formação e no exercício profissional do arquiteto – conceitos e experiencias. Tese (Mestrado). FAUUSP. São Paulo: 2011.

7. BNDES. BNDES 60 anos: perspectivas setoriais. A indústria de papel e celulose. Rio de Janeiro: Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, 2012. p. 334-381.

8. BNDES. Visão 2035: Brasil, um país desenvolvido. Rio de Janeiro: Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, 2018. p. 119-142.

9. BURSZTYN, M. A. A.; BURSZTYN, M. Desenvolvimento sustentável: biografia de um conceito. In: NASCIMENTO, E. P. do; VIANNA, J. N. S. (Orgs.). Economia, meio ambiente e comunicação. Rio de Janeiro: Garamond, 2006.

10. CAMARGO, B. S.; DIAS, N. S; SALADO, Gerusa de Cássia. Elementos tubulares de papel reciclado utilizados como elemento construtivo: uma possibilidade viável de uso dos resíduos em termos técnicos, econômicos e de sustentabilidade ambiental. In: VI Encontro Nacional sobre Aproveitamento de Resíduos na Construção - ENARC 2019, 2019, Belém. Anais do VI Encontro Nacional sobre Aproveitamento de Resíduos na Construção - ENARC 2019, 2019.

11. CAMARGO, B. S.; SALADO, Gerusa de Cássia. Sustentabilidade no uso de tubos de papelão aplicados na construção civil. In: VII Encontro de Sustentabilidade em Projeto - ENSUS 2019, 2019, Florianópolis. Anais do VII Encontro de Sustentabilidade em Projeto - ENSUS 2019, 2019.

12. CÂMPEAN, Teofil; PEIU, Nicolae; GAVRILESCU, Maria. Alternative uses of paper and cardboard in architecture and construction. Buletinul Institutului Politehnic Din Iaşi. Romênia, 2020.

13. CAMPOS, Edison da Silva. Curso básico de fabricação de celulose e papel. 2011.

14. CAMPOS, Edison da Silva; FOELKEL, Celso. A evolução tecnológica do setor de celulose e papel no Brasil. São Paulo: Editora ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel, 2017.

15. CARVALHO, M. G.; FONSECA, G.A. Croqui X Modelo Tridimensional X Maquete Eletrônica. UFRJ. In: GRAPHICA 2007. Curitiba, 2007.

16. CRIPPS, Andrew. Cardboard as a construction material: a case study. Building Research & Information, Volume 32, 2004

17. DARIM, Elisa et. al. Desenvolvimento Sustentável: Realidade ou Utopia?. In: V Congresso de Ensino, Pesquisa e Extensão da UEG, 2018.

18. DERDIK, Edith. Formas de pensar o desenho: desenvolvimento do grafismo infantil. São Paulo: Scipione, 1989.

19. DIAS, N. S; SALADO, Gerusa de Cássia. Comparação das principais propriedades mecânicas e do desempenho entre materiais compostos por fibras e materiais convencionais utilizados em estruturas. In: XVIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído - ENTAC 2020, 2020, Porto Alegre. Anais do XVIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído - ENTAC 2020, 2020.

20. DIAS, N. S; SALADO, Gerusa de Cássia. Construções com tubos de papelão: um estudo dos sistemas construtivos durante 2007-2017. In: VIII Encontro de Sustentabilidade em Projeto - ENSUS 2020, 2020, Palhoça. Anais do VIII Encontro de Sustentabilidade em Projeto - ENSUS 2020, 2020.

21. EEKHOUT, Mick; VERHEIJEN, Fons; VISSER, Ronald (Orgs.). Cardboard in Architecture. Delft: IOS Press, 2008.

22. FLORIO, Wilson. Croquis de concepção no processo de projeto em Arquitetura. Exacta, v. 8, n. 3, p. 373-383. São Paulo: 2010.

23. FRITOLI, Clara Landim; KRÜGER, Eduardo; CARVALHO, Silmara Küster de Paula. História do papel: panorama evolutivo das técnicas de produção e implicações para sua preservação. Brasília: Revista Ibero-Americana de Ciência da Informação, v. 9, n. 2, p. 475-502, 2016.

24. GANTES, Manuel. O tempo do desenho. In: As idades do desenho, p. 141-149. Lisboa, 2015.

25. GONÇALVES, Joana; DUARTE, Denise. Arquitetura sustentável: uma integração entre ambiente, projeto e tecnologia em experiências de pesquisa, prática e ensino. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 6, n. 4, p. 51-81 out./dez. 2006.

26. HOLIK, Helbert (ed.). Handbook of Paper and Board, 1&2. Weinheim: Wiley-VCH, 2013.

27. HORA, André Barros da; RIBEIRO, Leonardo Brandão Nader Magliano; MENDES, Rodrigo. Papel e celulose = Paper and cellulose. In: PUGA, Fernando Pimentel; CASTRO, Lavínia Barros de (Orgs.). Visão 2035: Brasil, país desenvolvido: agendas setoriais para alcance da meta. 1. ed. Rio de Janeiro: Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, 2018. p. 119-142.

28. JACKSON, Paul. Folding Techniques for Designers: From Sheet to Form. London: Laurence King, 2011.

29. JORDÃO, Alexandra. Discovering paper design: A paper design journey related through internship experiences. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Belas Artes, Universidade do Porto, 2015.

30. JORGE, Luís Antônio. A teia e o rio. Tese (Livre Docência). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2016

31. KAWAJI, Fernando Teruho. O papel da/na arquitetura. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal da Integração Latino-Americana, Foz do Iguaçu, 2017.

32. KOWALTOWSKI et al. Reflexão sobre metodologias de projeto arquitetônico. 2006.

33. L.C.BANK & T.D.GERHARD. Paperboard tubes in structural and construction engineering. Nonconventional and Vernacular Construction Materials (Second Edition). Woodhead Publishing Series in Civil and Structural Engineering, 2020, Pages 645-672.

34. LATKA, Jerzy. Paper in architecture: Research by design, engineering and prototyping. Architecture and the Built Environment, no. 19, Delft, 2017.

35. LEMES, G.; REZENDE, A. Habitações emergenciais em situações de desastres ambientais. Arquitextos 232.02, ano 20, set. 2019. Disponível em: https://vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/20.232/7520

36. LIRA, S.; FRAXE, T. O percurso da sustentabilidade do desenvolvimento: aspectos históricos, políticos e sociais. REMOA - V. 14, N. 2 (2014): Março, p. 3172 – 3182.

37. LIU, Eunice. DESIGN GRÁFICO: Processo como Forma. Tese de Doutorado. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, 2013.

38. LIU, Eunice. Do plano à forma. Tese de Mestrado. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, 2016.

39. MARANGONI, Renata França. A maquete manual como estímulo à criatividade na formação de arquitetos e urbanistas. 2011. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Campinas, SP.

40. MOTTA, Edson; SALGADO, Maria Luiza. O papel: problemas de conservação e restauração. Petrópolis: Museu de Armas Ferreira Cunha, 1971.

41. MOTTA, S. R.; AGUILAR, M.T. Sustentabilidade e Processos de Projetos de Edificações. Gestão & Tecnologia de Projetos. 2009.

42. NASCIMENTO, E. P. do. Trajetória da sustentabilidade: do social ao ambiental, do ambiental ao econômico. Estudos Avançados (USP. Impresso), v. 26, p. 51-64, 2012

43. NIEMEYER, Oscar. Conversas de arquiteto. Rio de Janeiro, Revan, 1999.

44. OLIVEIRA, B.; SOUTO, A.; CONTO, V. A maquete física como agente no processo de ensino e aprendizagem em arquitetura. In: IV Encontro Internacional de Gestão, Desenvolvimento e Inovação – EIGEDIN. 2020.

45. OLIVEIRA, Talita Yasmin Mesquita de. Estudo sobre o uso de materiais de construção alternativos que otimizam a sustentabilidade em edificações. Trabalho de Conclusão de Curso, UFRJ. Rio de Janeiro, 2015.

46. OUKAWA, Carolina Silva. Análise arquitetônica e o fio do sentido: apontamentos para uma prática pedagógica. Tese (Doutorado). FAUUSP. São Paulo: 2019

47. PAPEL. In: MICHAELIS, Dicionário Online de Português. Melhoramentos, 2021. Disponível em: <https://www.dicio.com.br/risco/>. Acesso em: 27/07/2020.

48. ROCHA, Paulo Mendes da. Maquetes de papel. São Paulo, Cosac Naify, 2007.

49. ROSA, L.; CEZAR L. O uso de modelos tridimensionais como ferramenta no processo projetual de arquitetura. In: XVI Encontro de Pós-Graduação - Universidade Federal de Pelotas. 2014.

50. ROZESTRATEN, Artur Simões. Modelagem manual como instrumento de projeto. Arquitextos 049.04, ano 05, jun. 2004. Disponível em: https://vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/05.049/576

51. RUSS et al., Reuse of Old Corrugated Cardboard in Constructional and Thermal Insulating Boards. Wood Science, 58, 505-510 (2013).

52. SALADO, Gerusa de Cássia. Construindo com tubos de papelão: Um estudo da tecnologia desenvolvida por Shigeru Ban. Dissertação de Mestrado, EESC-USP. São Carlos, 2006.

53. SALADO, Gerusa de Cássia. Painel de vedação vertical de tubos de papelão: estudo, proposta e análise de desempenho. Tese de Douturado, EESC-USP. São Carlos, 2011.

54. SALADO, Gerusa de Cássia; SICHIERI, E. P. Desempenho de painéis de vedação vertical de tubos de papelão criados no Brasil a impactos de corpo duro. In: Jornadas LNEC - Engenharia para a Sociedade: Investigação e Inovação: Cidades e Desenvolvimento, 2012, Lisboa

55. SALADO, Gerusa de Cássia; SICHIERI, E. P. O design na arquitetura em tubos de papelão. In: 8º Seminário Internacional Arquitetura, Urbanismo e Design: produtos e mensagens para ambientes sustentáveis., 2010, São Paulo. Anais do Nutau 2010. São Paulo: NUTAU, 2010. v. 1. p. 1-10.

56. SALADO, Gerusa de Cássia; SICHIERI, E. P. O uso de tubos de papelão em construções habitacionais no espaço lusófono: viabilidade ou utopia?. In: I Seminário Internacional da Academia das Escolas de Arquitetura e Urbanismo de Língua Portuguesa, 2010, Lisboa. Uma Utopia Sustentável. Arquitetura e Urbanismo no Espaço Lusófono: Que Futuro?. Lisboa: Antonio Coelho Dias SA, 2010. p. 304-316.

57. SALMASO, J.; VIZIOLI, S. H. T. O uso do modelo físico e digital nos processos de projeto da arquitetura contemporânea. In: 2º Seminário Internacional Representar Brasil, 2013, São Paulo. Anais do 2º Seminário Internacional Representar Brasil 2013. As representações na Arquitetura, Urbanismo e Design. 2013.

58. SANTOS, Marcos et al. Estudo do uso de materiais alternativos na indústria da construção civil brasileira. Coleção Desafios das Engenharias: Engenharia Civil, p. 151-161, Editora Atena, 2021.

59. SCHMUTZLER, Luis Otto Faber. Projeto Forro Vida Longa. Faculdade de Engenharia Mecânica – UNICAMP. Campinas: 2001

60. SCHÖNWÄLDER, Julia; ROTS, Jan. Mechanical Behaviour of Cardboard in Construction. In: Cardboard in Architecture. Delft: IOS Press, 2008.

61. SECCHI et al. Experimental and Environmental Analysis of New Sound-Absorbing and Insulating Elements in Recycled Cardboard, Journal of Building Engineering, 5, 1-12 (2016).

62. SEKULIĆ, Branko. Structural cardboard: feasibility study of cardboard as a long-term structural material in architecture. Tese (Mestrado). Universidade Politécnica da Catalúnia. Barcelona: 2013.

63. TAMASHIRO, Heverson Akira. Desenho técnico arquitetônico: constatação do atual ensino nas escolas brasileiras de arquitetura e urbanismo. Tese (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos – USP. São Carlos, 2003.

64. VACCARI, Mirian Sayuri. Habitação ecológica e econômica em papel. In: III ENECS - Encontro Nacional Sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis. São Paulo, 2003

LISTA DE FIGURAS

Figuras 1 a 4 – Fonte: <https://www.dkfindout.com/us/history/ancient-china/chinese-paper-making/>

Figura 5 – Fonte: <https://br.depositphotos.com/stock-photos/pergaminho.html>

Figura 6 – Fonte: <https://www.iconspng.com/image/134459/blank-papyrus-sheets>

Figura 7 – Fonte: <https://ribeiraopretoculturaljaf.blogspot.com/2019/11/analise-da-carta-de-pero-vaz-de-caminha.html>

Figura 8 – Fonte: <http://www.perinijournal.it/Items/pt-BR/Articoli/PJL-44/o-papel-comprido>

Figura 9 – Fonte: <https://casepaga.blogs.sapo.pt/adeus-ao-pergaminho-a-invencao-da-1422815>

Figura 10.1 – Fonte: <https://www.maravilhasdolar.com/papel-cartao-48x66cm-colorido-1-unidade-cores-sortidas-109407-p4330>

Figura 10.2 – Fonte: <https://www.bazarepapelariahondo.com.br/folha-de-papel-pardo/p>

Figura 10.3 – Fonte: <https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-848833739-fardo-jornal-usado-10kg-limpo-folhas-grandes-p-uso-geral-_JM>

Figura 10.4 – Fonte: <https://br.pinterest.com/pin/27021666493288519/>

Figura 10.5 – Fonte: <https://investidorsardinha.r7.com/aprender/papel-moeda/>

Figura 10.6 – Fonte: <https://www.manders.com.br/papel-crepom-48cmx2m>

Figura 10.7 – Fonte: <http://olhodocoracao.blogspot.com/2017/04/por-que-usar-papel-100-algodao.html>

Figura 10.8 – Fonte: <https://www.shoptime.com.br/produto/2893634958?tamanho=4.0%2F52.0%2F20.0>

Figura 10.9 – Fonte: <https://www.magazineluiza.com.br/papel-couche-fosco-90g-a4-embalagem-com-100-folhas-phandora/p/hfe54jf18f/pa/pcpu/>

Figura 10.10 – Fonte: <https://m.casadopapel.com.br/papel-vegetal-a3-29-7cmx42cm-canson-1-folha-p991188>

Figura 10.11 – Fonte: <http://oficinafu.blogspot.com/2018/03/papel-marmorizado.html>

Figura 10.12 – Fonte: <https://www.ebay.com/itm/293806252113>

Figura 10.13 – Fonte: <https://www.elastobor.com.br/papel-higienico-primavera-neutro-folha-simples-16-rolos-60mt/p>

Figura 10.14 – Fonte: <https://www.plasticoslider.com.br/catalogo/papel-laminado/>

Figura 10.15 – Fonte: <https://br.pinterest.com/pin/9570217945310427/>

Figura 11 – Fonte: <https://sites.psu.edu/siowfa16/2016/09/14/the-science-of-a-paper-cut/>

Figura 12 – Fonte: <http://paperproject.org/semgallery/images/denim1x100.jpg>

Figura 13 – Fonte: <http://www.monitpaper.in/latest-update/what-are-machine-and/85>, editada pela autora

Figura 14 – Fonte: [65] GUIMARÃES, Euclides; ARAGÃO, Gaby. Desenho 2 de Arquiteto: Croquis Estudos e Anotações. Rona Editora: Belo Horizonte, 2007, p.119. Arquiteto: João Diniz

Figura 15 – Fonte: [43], p. 23.

Figura 16 – Fonte: [65], p.20-29. Arquiteto: Benedito Fernando Moreira

Figura 17 – Projeto e Ilustração: COTRIM, Marcio. Vilanova Artigas: Casas paulistas 1967-1981. Romano Guerra Editora: São Paulo, 2017, p.46. | Foto: <http://www.vilanovaartigas.com/cronologia/projetos/casa-hanns-victor-trostli>

Figura 18 – Fonte: [65], p. 166-167. Arquitetos: Sylvio Embrich de Podesta e Humberto Hermeto

Figura 19 – Fonte: [65], p. 81. Arquiteto: Humberto Hermeto

Figura 20 – Fonte: [65], p. 41. Arquiteto: Cláudio Parreiras Reis

Figura 21 – Fonte: <https://www.bbc.co.uk/programmes/p04f1fd6/p04f1dzf>

Figura 22– Fonte: [48]

Figura 23 – Fonte: <https://hivemodern.com/pages/product243/wiggle-side-chair-frank-gehry-vitra>

Figura 24 – Fonte: <https://www.architonic.com/en/product/wb-form-ag-carta-collection-chair/1390216>

Figura 25 – Fonte: <https://www.dezeen.com/2021/07/11/cardboard-beds-modular-mattresses-airweave-tokyo-2020-olympics/>

Figura 26 – Fonte: [52]

Figura 27 – Fonte: <https://roadtrippers.com/magazine/paper-house-rockport/>

Figura 28 – Fonte: [5]

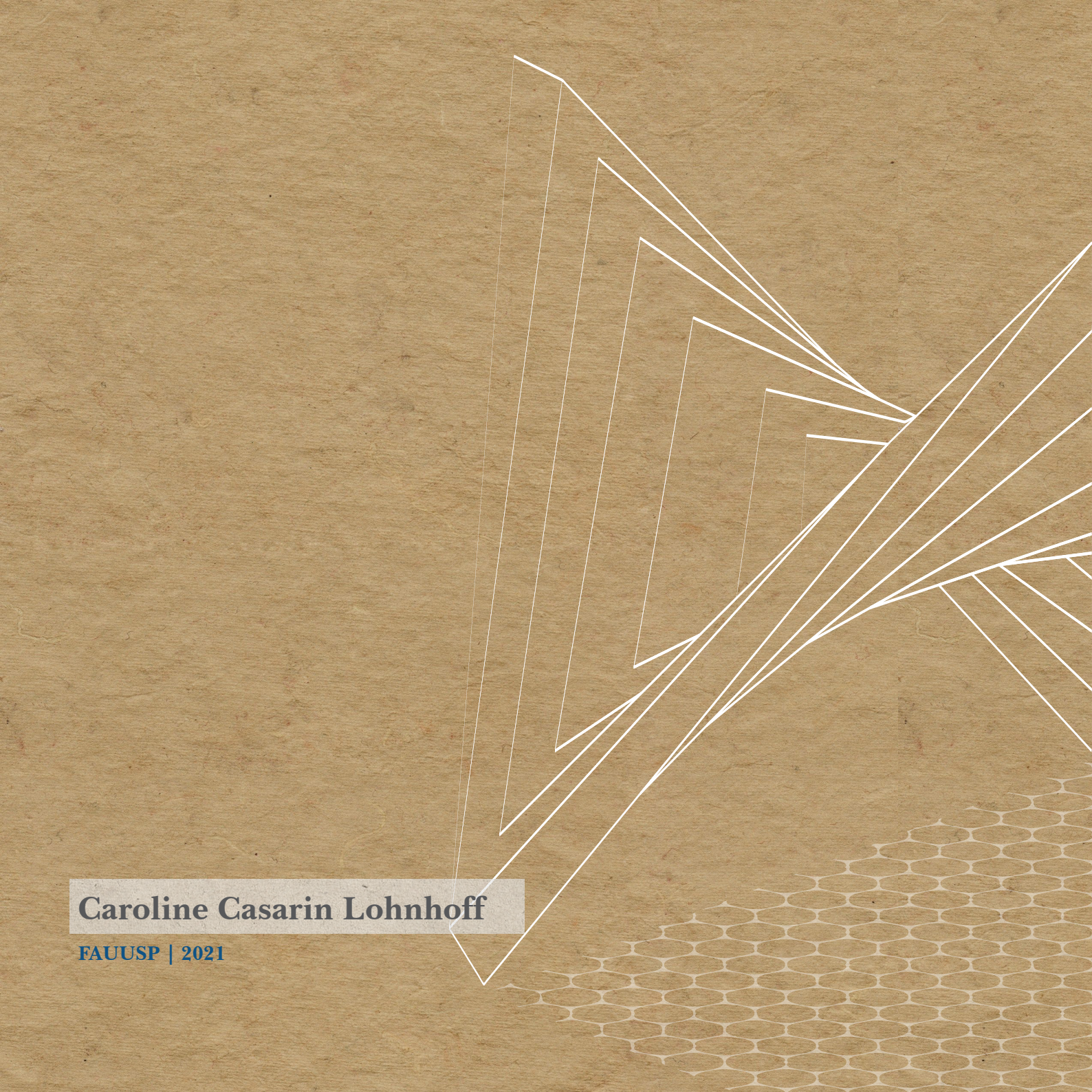
Figuras 29 a 31 – Fonte: <http://www.shigerubanarchitects.com/>

Figura 32 – Fonte: <https://www.archilovers.com/projects/114146/yakushima-takatsuka-lodge.html>

Figuras 33 a 41 – Fonte: <http://www.shigerubanarchitects.com/>

Figura 42 – Fonte: <https://www.archdaily.com.br/br/889458/eco-habitacao-modular-empurra-os-limites-da-construcao-com-papelao>

Figura 43 – Fonte: <https://www.cv-arch.co.uk/westborough-cardboard-building/>



Caroline Casarin Lohnhoff

FAUUSP | 2021