

2. Revisão Bibliográfica

2.1. O uso do modelo no processo de projeto

2.1.1. Sobre o LILD

O Laboratório de Investigação em Living Design (LILD) é vinculado à linha de pesquisa: Design: Tecnologia, Educação e Sociedade do Programa de Pós Graduação do departamento de Artes e Design da PUC-Rio. Sua linha de trabalho é focada no uso de materiais naturais com mínimo beneficiamento, processados com baixo consumo energético e no uso de modelos físicos de estudo como metodologia de pesquisa. Sua proposta é ser um espaço dinâmico onde as pesquisas “tomem corpo” e que todos os pesquisadores tenham acesso e participem das pesquisas de forma mútua. O espaço físico do LILD, sem divisórias, propicia a integração destes pesquisadores e o desenvolvimento de modelos físicos estimula a troca de informações. Apesar dos pesquisadores do laboratório em sua maioria, virem da área do design e da arquitetura, os conhecimentos específicos acumulados são muito variados e a contribuição desses conhecimentos pode ser muito importante no desenvolvimento de cada assunto. Da prática diária do laboratório participa o coordenador, responsável direto pela orientação das pesquisas, pesquisadores e estagiários, além de um funcionário, que auxilia diretamente nos experimentos. O LILD conta também com outros colaboradores além dos alunos de graduação e pós-graduação, professores e alunos de diferentes áreas de conhecimento (engenharia, geografia, meio-ambiente, entre outros) e de diferentes universidades do Brasil, além da própria comunidade, contribuem direta ou indiretamente nas pesquisas desenvolvidas no laboratório.

O LILD é aberto à universidade em geral e à comunidade. Os dados e objetos experimentais são destinados a atender demandas reais de situações reais. Tem como premissa a pesquisa de construções de baixo impacto ambiental com o uso de recursos limpos e renováveis, o conceito de renaturalização dos materiais

empregados no processo e a aplicação de tecnologias construtivas apropriadas, entre outras. Além das pesquisas realizadas, o LILD também atende a demandas específicas da comunidade ou da universidade sempre dentro da linha de construções de baixo impacto e uso de materiais naturais, como por exemplo, o projeto para a construção do novo espaço destinado ao laboratório, que aproveitará a estrutura metálica tubular do antigo laboratório, tendo como cobertura uma estrutura geodésica em bambu desenvolvida na pesquisa.

Faz parte do método de trabalho do LILD a realização de experimentos práticos utilizando modelos físicos denominados modelos processuais em todas as pesquisas desenvolvidas, e os objetos gerados nestas pesquisas passam a integrar o acervo do laboratório. A exposição permanente dos objetos gerados podem servir de referência nas novas pesquisas, visto que, as unidades existentes neste acervo não estão “fechadas” obrigatoriamente nas funções para o qual foram criadas, estão somente em um determinado estágio de evolução, e outras especificidades podem ser geradas para atender novas demandas. Para tal é importante despir os objetos dos significados que lhes foram atribuídos anteriormente, permitindo dessa maneira a resignificação dos objetos de pesquisas anteriores, dando-lhes novos significados e permitindo a atribuição de novas funções. Para Moreira (2008), as atividades do LILD tem grande semelhança com as atividades do jogo e tem como regra básica a utilização de modelos físicos, que além de permitir a concretização de idéias, possibilita também o surgimento de outras.

O percurso de uma pesquisa do LILD dá-se da seguinte forma: A partir de uma demanda real ou de uma idéia destinada a alguma aplicação, empreende-se a geração de objetos que são unidades intercambiáveis, cujas conjugações comporão as construções, utilizando-se para isto, o repertório de materiais e técnicas existentes já pesquisadas no LILD. Segundo Moreira (2008), caso não haja no repertório do laboratório, unidade disponível para atender a essa nova demanda, essa unidade passará então a ser o objeto primeiro da nova pesquisa. Inicia-se então um levantamento de formas disponíveis no repertório do laboratório, onde as propriedades constitutivas são analisadas segundo:

- seus princípios de funcionamento;
- processos construtivos;
- técnicas empregadas.

No LILD as formas são geradas a partir do processo de fazê-las, na manipulação direta da matéria e da submissão da forma aos fenômenos do meio físico, com estes procedimentos nascem os modelos processuais, que passam a ser fora das mentalidades, o ponto de encontro dos pesquisadores. O objeto passa a ser então uma forma passiva, embora possa ser compreendida diferentemente pelas pessoas, não muda de aparência com as opiniões. O processo de investigação pressupõe idas e vindas e requerem a execução de inúmeros modelos e dispositivos, que ao final convergem a um determinado sistema específico, trata-se portanto, de um processo não linear, onde cada modelo individualmente pode contribuir ou determinar o próximo passo a ser dado em direção ao objeto final.

A apropriação nos modelos reduzidos, sempre que possível, dos materiais que serão utilizados nos objetos em escala real é incentivada, visto que sua utilização pode ajudar no entendimento do comportamento destes materiais e estabelecer novas possibilidades de manipulação e uso dos mesmos.

Os modelos processuais fazendo parte de um mundo real estão sujeitos às leis da física, como: movimento, transformações de energia e efeitos dos campos de força, enfim, eles se comportam como esperado para um objeto dotado de massa, interagindo com um campo gravitacional uniforme.

Cada novo experimento precisa de seu próprio tempo para ser desenvolvido, esse tempo envolve o manusear, montar, desmontar, deformar, enfim, esgotar todas as possibilidades que podemos identificar durante o processo projetual. Devemos conduzir os experimentos na direção desejada, sem deixar de entender que o material possui suas próprias respostas para determinadas situações e novas possibilidades podem surgir, para isso não pode existir o medo de errar. O erro, muitas vezes pode ser melhor do que o acerto, visto que enquanto o acerto pode ser meramente obra do acaso, no erro existe a

possibilidade de identificação do problema enquanto ainda não existem muitas variáveis envolvidas no processo.

As modificações da matéria realizadas pelo homem, segundo Moreira (2008), não surgem somente de uma atividade projetiva e teórica. São fruto de um gestual de movimentos precisos ajustados ao objeto manipulado. Portanto, não somente os modelos físicos devem possuir escala apropriada, compatível com os gestos nele aplicados, como as técnicas construtivas devem levar em consideração os processos envolvidos na construção do objeto e nos gestos envolvidos em tal tarefa.

Diferentemente de outros laboratórios tradicionais, onde os experimentos são realizados com os materiais isolados em ambiente controlado, gerando mais dados estatísticos e quantitativos do que qualitativos, no LILD, os experimentos são sempre que possível, colocados nos meios para os quais se destinam, a observação desses experimentos em exposição prolongada ao tempo e o estudo da deterioração sofrida por processos naturais não provocados, fornecem dados muito mais interessantes a serem analisados, do que aqueles dados quantitativos que necessitam de uma interpretação muito mais subjetiva do pesquisador, muitas vezes levando a conclusões erradas acerca de determinada questão.

O LILD desenvolve objetos que possam ser facilmente assimilados pelas comunidades que venham a fazer uso dessas tecnologias, logo, os materiais utilizados devem ser facilmente encontrados nos locais, as técnicas construtivas devem ser simples e, a utilização de ferramentas de fácil manuseio permitem a interação das pessoas envolvidas no processo, gerando dessa maneira sua autonomia.

1.1.2. Modelos processuais no projeto de arquitetura

Em sua obra *Ensaio sobre a visão*, Berkeley afirma que a percepção dos espaços é primitivamente tátil. O homem tem a necessidade de tocar nos objetos

para melhor apreendê-los. A visão responde por 75% da percepção humana. Os outros 25% decorrem de outros estímulos sensoriais como o olfato, a memória e o tato.

Segundo Piaget¹, a apreensão espacial faz parte do desenvolvimento cognitivo e formação do conhecimento desde a infância. Através da maturação e experiências sucessivas, a criança adquire embasamento para compreender novas estruturas, percebidos principalmente através da visão e do tato.

Um bebê, ainda incapaz de segurar ou manipular o cubo, define-o pelos lados visíveis a ele naquele momento. Quando a musculatura e as estruturas mentais da criança permitem que ela o toque, ser-lhe-ão apresentadas novas informações que deverão ser integradas no seu pensamento. (Brooks, 1997)

Atualmente, discute-se a importância dos modelos reduzidos para a concepção de projetos. Assim como o croquis é uma forma de expressão para o processo investigativo da forma, a execução de modelos reduzidos de estudo também o é. Assim como o croquis é um esboço, um desenho esquemático sem acabamento e muitas definições; a maquete de estudo é uma espécie de croquis tridimensional que pode ser realizada rapidamente com materiais de ocasião como papelão, cola, arame, sabão em pedra entre outros. A maquete de estudo é meio através do qual as características (qualidades e deficiências) do projeto se revelam de maneira rápida. A experimentação tátil do modelo permite a observação de novos ângulos, a incidência da luz, a sensação de cheios e vazios e texturas. Esta experiência parece fundamental para a real compreensão da forma e domínio de suas potencialidades.

Segundo Mills (2007), “no final do século, as sementes da arquitetura moderna já começavam a criar raízes. Com ela, surgiu uma abordagem que olhava a arquitetura como a experiência do movimento através do espaço”. O deslocamento do observador pela obra representa a quarta dimensão, o tempo. Somente com este deslocamento é possível entender as diversas relações entre as formas.

¹ Jean Piaget (1896–1980) psicólogo e filósofo suíço, conhecido por seu trabalho pioneiro no campo da inteligência infantil.

Falando sobre o diálogo entre desenho e a modelagem em arquitetura, Rozestraten (2007) diz que “enquanto o desenho simula a profundidade com recursos de perspectiva, a modelagem compartilha com a arquitetura a tridimensionalidade”. A dialética entre projeto e modelagem acompanha a relação entre idéia e materialidade. Segundo Cardoso (2005), “no processo de projeto, as experimentações, os croquis e os modelos de estudo auxiliam o raciocínio, alimentam as atividades mentais, ressaltando pontos de interesse, provocando tomadas de decisão e transmitindo informações”. No campo da arquitetura o exercício projetual da concepção da forma diz respeito à imersão necessária que aproxima o criador de seu objeto, trazendo materialidade ao pensamento em processo, fazendo, como afirma Rozestraten (2007), o suporte para o diálogo entre a idéia e a forma física.

Para Consalez (2001) as maquetes são simultaneamente objetos de estudo, instrumentos de representação e resultados autônomos formais de um processo criativo, que pode até em certos casos, resumir todo o conteúdo da pesquisa do projeto. Ainda segundo Consalez:

A utilização de maquetes integradas no processo do projeto pode converter-se em uma importante confirmação da validade das soluções do próprio projetista, ou pode, até mesmo, sugerir-lhe diversas alternativas no estudo dos volumes, dos materiais e das cores. (Consalez 2001)

O uso de modelos tridimensionais como ferramenta de criação da forma e do projeto em si, une campos disciplinares correlatos com a arquitetura, o design e belas-artes. Vem das Belas-Artes, entretanto, especificamente da escultura, a maior contribuição como método, pois o escultor, antes de dar forma final ao material na escala desejada, freqüentemente faz inúmeros modelos reduzidos para simples estudo, assim como utiliza desenhos e croquis como ferramentas. Assim como afirma Henry Moore, escultor Inglês do século XX:

Eu também utilizo o desenho para estudar e observar formas naturais (desenho de modelo vivo, de ossos, conchas, etc). Algumas vezes desenho pelo puro prazer de desenhar. Entretanto, aprendi por experiência que não devemos ignorar a diferença que separa o desenho da escultura. Uma idéia de escultura apresentada de forma satisfatória como um desenho sempre terá que ser alterada na sua tradução para escultura. (Moore, 1937)

A utilização de maquetes processuais durante o processo de criação do projeto na arquitetura assim como no design permite simulações sobre o resultado plástico do produto ou da obra, mas não esgota aí o seu potencial. As maquetes de estudo podem ser utilizadas para livres experimentações da forma, onde é fundamental o domínio sobre os tipos de materiais empregados. Assim, as maquetes servem para o estudo da composição da forma no seu aspecto global, sem vínculos com projetos específicos, mas sim propostas de idéias-conceito que podem ser incorporadas como linguagem ao projeto (cheio, vazio, fluidez, equilíbrio, rusticidade, etc...).

Em contraposição à velha metáfora da obra como organismo gerado, cristaliza-se um novo objetivo da obra como mecanismo construído – eficiente e equilibrada conjunção de partes independentes em que a operação do todo depende da precisa colocação de cada engrenagem e solda-tirando proveito máximo do poder da tecnologia e da resistência dos materiais (Cardoso, 2005)

Todas estas conjecturas chamam a atenção para a importância do uso de modelos processuais durante o processo projetual e merece grande atenção no momento contemporâneo face ao apelo crescente do computador como ferramenta de projeto, seja através de maquetes eletrônicas, seja através das ferramentas CAD. Se estas ferramentas por um lado proporcionaram uma nova dinâmica para o desenvolvimento de projetos oferecendo rapidez de execução, precisão técnica, fácil adequabilidade de escalas, grande riqueza de detalhes; são eficazes somente enquanto ferramenta de desenvolvimento e apresentação de projetos já evoluídos, mas não dão conta de substituir os recursos tradicionais de concepção da forma como os croquis e os modelos de estudo. Isto acontece tanto pela limitação de apreensão do todo aprisionado às dimensões da tela do computador, quanto pela ausência de experimentações táteis, da percepção real da incidência da luz, da sensação real dos ângulos, proporções, cheios, vazios e texturas.

Crescem nos últimos tempos, novos campos de apreensão do espaço explorado a partir de novas tecnologias que derivam da ciência da computação, permitindo cada vez maior qualidade na imersão do usuário em simulações computacionais. Para Mills (2007), embora a experiência virtual possa simular o espaço construído, seu resultado ainda é muito distante da experiência real, onde a

presença física do objeto desempenha papel fundamental no desenvolvimento do projeto. Outra característica inerente as maquetes físicas, quando comparadas aos desenhos de computador, é a analogia que pode ser estabelecida com as construções, por fazerem parte do mundo das forças dinâmicas, as maquetes podem ser utilizadas para nos indicar por exemplo, princípios de funcionamento estruturais.

Simulações virtuais no espaço cibernético intermediadas por equações matemáticas tentam resgatar o que está a nossa volta, a tridimensionalidade. Geralmente estas simulações interativas nos guiam tal qual uma locomotiva nos impondo um feixe contínuo de percurso e tempo, limitando a experiência pessoal no que diz respeito ao seu próprio repertório de imagens e predisposições perceptivas. Nestas simulações o espaço é visto como um fluxo contínuo de luz expresso como forma.

Acreditando na importância do uso de modelos tridimensionais de estudo durante a concepção inicial do projeto, ingressei no LILD sabendo que este era o “espaço de investigação do design” que adotava como linha de trabalho tudo aquilo que eu acreditava por ter como método de trabalho a experimentação através de modelos processuais. Outra inquietação, entretanto, estimulou minha aproximação ao laboratório: minha crítica ao atual modelo de ensino de arquitetura que impõe um grande distanciamento entre o projeto e o conhecimento sobre as técnicas de construção.

Na arquitetura acadêmica pós movimento moderno, o foco dos arquitetos esteve voltado para a forma, e esta ganhou maior liberdade a partir de novas tecnologias construtivas utilizando o concreto armado, o vidro e o aço entre outros materiais. A preponderância da forma e do uso de materiais construtivos industrializados trouxe para o meio acadêmico conseqüências como um certo distanciamento entre projeto e o conhecimento das técnicas construtivas. Com o ensino voltado essencialmente para a teoria e a pouca experiência prática, tornou-se natural que os arquitetos tenham pouco domínio sobre as possibilidades construtivas dos materiais de construção. Falta experiência em laboratório de materiais, botar a mão na massa, construir em diferentes escalas. Além de um

escritório modelo, onde o aluno consiga praticar o projeto, e de um bom laboratório de materiais, toda a faculdade de arquitetura deveria ter um canteiro experimental de obras.

Tenho a oportunidade de constatar que o aluno de arquitetura prioriza a forma e o projeto funcional, enquanto a definição dos materiais e das técnicas construtivas vem em segundo plano. Muitas vezes a escolha de determinado material de construção decorre unicamente de suas características enquanto revestimento e não de suas propriedades técnicas. Prevalece a cultura da estrutura convencional em concreto armado e há pouco interesse na pesquisa sobre outros tipos de materiais e técnicas construtivas. No entanto a universidade é o ambiente ideal para promover esta aproximação, pois na vida profissional a realidade do mercado certamente irá impor outro rumo. Existem arquitetos que se destacam por saber explorar ao máximo os recursos de materiais e técnicas construtivas. Este é o exemplo de Oscar Niemeyer, e seus projetos utilizando cascas de concreto armado; Severiano Mario Porto que constrói com madeiras e fibras naturais, utilizando-se dos conhecimentos dos povos da floresta e Hassan Fathy que em suas obras, resgata antigos métodos construtivos para construção de abóbadas com tijolos de adobe. Nestes dois últimos casos podemos dizer que a escolha do material e, por conseguinte a técnica aplicada, foi preponderante sobre a forma, respondendo à seguinte equação: Qual a melhor forma que podemos obter a partir de determinados materiais e técnicas construtivas?

2.2. Estrutura

2.2.1. Autonomia e Economia

O Laboratório de Living Design da PUC Rio (LILD) trabalha com experimentações buscando alternativas de soluções para problemas reais surgidos durante o processo de pesquisa. Diversos dispositivos gerados no laboratório são observados e analisados sob aspectos das relações com outros materiais, elementos construtivos e ambiente de aplicação, compartilhando conhecimentos com outros laboratórios acadêmicos da PUC-Rio. No caso da pesquisa de desenvolvimento de um método de construção de uma cúpula catenária em fibrosolo o problema que se impunha não era exatamente o da composição da casca de fibrosolo, visto que este objeto já havia sido estudado no laboratório (ver Leme, 2003); mas como resolver o seu suporte estrutural visando a sua autonomia, ou seja, utilizando na estrutura materiais de fácil aquisição e trabalhabilidade; e economia construtiva. Tudo indica que a eficiência estrutural seria garantida pela geometria de curvas, pois como sabemos o arco é a forma mais eficiente e econômica para vencer vãos com espessuras mínimas.

2.2.2 – Conceitos estruturais

Segundo Engel (1981), de todos os elementos componentes da forma a estrutura é o mais importante, pois sem ela a forma material não pode ser preservada e o organismo interno não pode funcionar. Na vida cotidiana não nos damos conta, mas temos contato com princípios básicos da análise estrutural, segundo Salvadori (1998) presentes no ângulo da escada apoiada em uma parede, na corda para levantar água de um poço, e no vento que atinge uma barraca de camping, por exemplo.

A base estrutural dos organismos da natureza obedece a um longo processo de seleção natural por isso seu desenho é complexo (ossos, conchas, árvores). Nas

estruturas artificiais a forma resistente é segundo Baixas (2005), uma geometria mais elementar e abstrata. O processo de construção destas estruturas é feito em fases, cada qual executada com máquinas, ferramentas e procedimentos próprios. Cada fase deixa sua marca no objeto final construído. O método do LILD consiste em identificar as pistas deixadas ao longo do processo de conformação e transformação dos materiais para a aplicação na geração de novas estruturas.

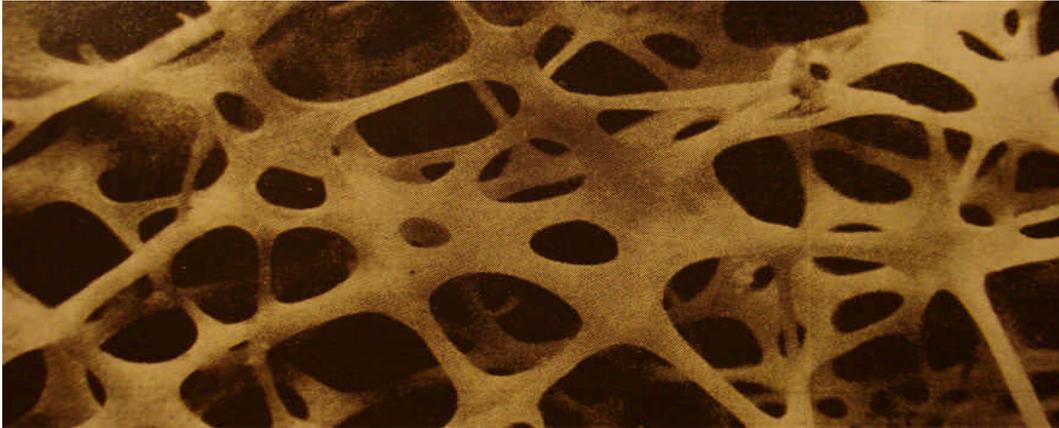


Figura 01: Detalhe de uma estrutura óssea

A geometria de nossas construções está limitada ao que podemos gerar de formas eficientes com as ditas máquinas, ferramentas e procedimentos. Portanto é crucial que os designers e arquitetos tenham o domínio do processo construtivo. De tal domínio dependerá o maior ou menor grau de liberdade com que designers e arquitetos enfrentam o assunto da forma. (Baixas, 2005)

Para Salvadori (1998), os requisitos básicos para as estruturas podem ser definidos entre outras por algumas categorias:

- Equilíbrio - A propriedade de que o edifício, ou qualquer uma de suas partes, não se moverá, ou seja, mesmo sofrendo pequenas deformações, comparadas às suas dimensões elas são imperceptíveis.
- Estabilidade - Diz respeito ao edifício em sua totalidade que deve estar enraizado no solo ou equilibrado pelo seu próprio peso, sem se desintegrar.

- Resistência - Diz respeito à integridade da estrutura e cada uma das suas partes, sujeitos a qualquer tipo de cargas possíveis. Está vinculada às condições de carregamento e a propriedade dos materiais.
- Funcionalidade - A estrutura estar adequada à finalidade para a qual o edifício foi construído, por exemplo, a construção da cúpula das igrejas que além de atender às demandas estruturais também respondem aos requisitos formais do espaço arquitetônico.
- Economia - A estrutura deve ser utilitária, ou seja, requerer a menor quantidade possível de material na sua construção.

2.2.3. Arcos e Abóbadas

O arco é em essência uma estrutura que trabalha a esforços de compressão e é utilizada para vencer vãos aproveitando o peso próprio dos materiais constituintes para desviar os empuxos verticais e horizontais até a sua base, podendo ser construídos em alvenaria de tijolos ou pedras, entre outros materiais. Sua criação é atribuída aos romanos na antiguidade, embora, segundo Fathy (1982), tenhamos provas de que esta é uma técnica muito mais antiga, pois já era utilizada em abóbadas construídas em tijolos de adobe no Egito onde podemos encontrar registros em Ramesseum há 3.400 anos e em Tuna-el-Gebel há 2.000 anos.

... o elemento mais usado ao longo da história do Egito fossem as abóbadas, e no entanto, pelo que tínhamos aprendido na Escola de Arquitetura, eu poderia não ter suspeitado que alguém, antes dos romanos, pudesse saber como construir um arco. (Fathy, 1982)

Segundo Baixas (2005) os apoios dos arcos sempre sofrem esforços horizontais tendendo a abrir na base, esforços que são especialmente críticos em arcos construídos elevados do chão visto que esses esforços terão que ser descarregados no solo, implicando na construção de paredes muito grossas. Desta forma, quanto mais alto e estreito em sua proporção, menores serão os esforços resultantes em seus apoios (figura 02). Para Engel (1981) a absorção desses

esforços representa o maior problema de projeto quando da utilização desses sistemas, mas por outro lado devido a sua identificação com o fluxo “natural” das forças, esses mecanismos são os mais convenientes para gerar espaços amplos.

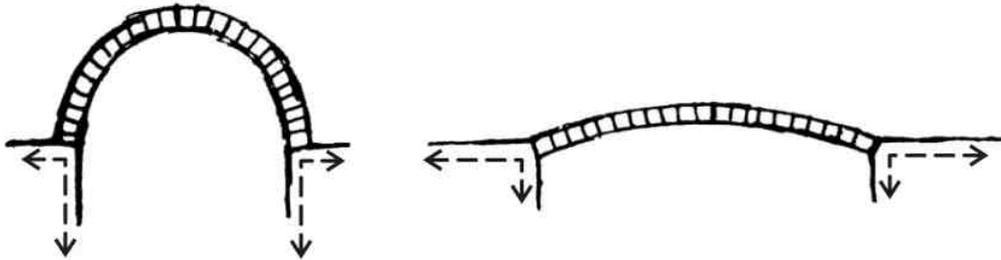


Figura 02: Arco estreito e arco estendido: Quanto mais estendidos, maiores os esforços horizontais nos apoios.

Outro processo interessante de construção a ser destacado é a estrutura de “lamelas”, esta consiste em uma série de arcos paralelos, oblíquos sobre os lados da área retangular coberta, interceptada por outra série de arcos oblíquos, de modo que entre as duas séries se obtém uma ação recíproca eficiente. Este sistema consiste na conexão de pequenas vigas conectadas entre si formando um pórtico espacial curvo. Os tetos em lamelas são utilizados para criar tetos abobadados em madeira, aço ou concreto. A vantagem da utilização desse tipo de método consiste que o mesmo pode ser construído com a utilização de peças pré moldadas em tamanho reduzido, visto que, a estrutura é formada pela associação destes pequenos segmentos em arco.



Figura 03: Hangar em abóbada lamela construída por Pier Luigi Nervi

2.2.4. Arcos Funiculares

Um cabo suspenso pelas suas extremidades e submetido a cargas uniformemente distribuídas descreve um polígono funicular (do latim funis: corda, e do grego gônia: ângulo). À medida que se aumenta o número de cargas o polígono funicular aumenta seu número de lados se aproximando assim de uma curva uniforme. O polígono se converteria a uma curva funicular se fosse acrescentado um número infinito de pequenas cargas distribuídas. Sua forma curva pode ser elíptica, parabólica ou catenária dependendo da maneira como as cargas são distribuídas.

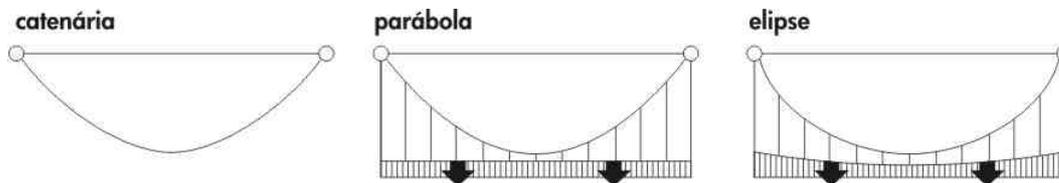


Figura 04: arcos funiculares

Estudos comprovam que a forma ideal de um arco estrutural seria o “espelhamento” de um arco funicular, ou um arco funicular invertido. Segundo Baixas (2005) se colocarmos uma corrente presa pelos seus extremos sem que sobre elas atuem outras forças, esta corrente descreverá uma curva conhecida como catenária, e para tal, de acordo com Salvadori (1998) é necessário um cabo de seção constante submetido ao seu próprio peso e distribuído uniformemente em toda a sua extensão.

A flecha ou altura ótima para um arco catenário é aproximadamente um terço de seu vão. Para Baixas (2005) a catenária é uma curva única. Se mudarmos a curva aumentando ou diminuindo a extensão do cabo aparentemente teremos curvas diferentes, porém, é interessante observar que todas fazem parte de uma mesma curva, pois suas diferenças são escalares.

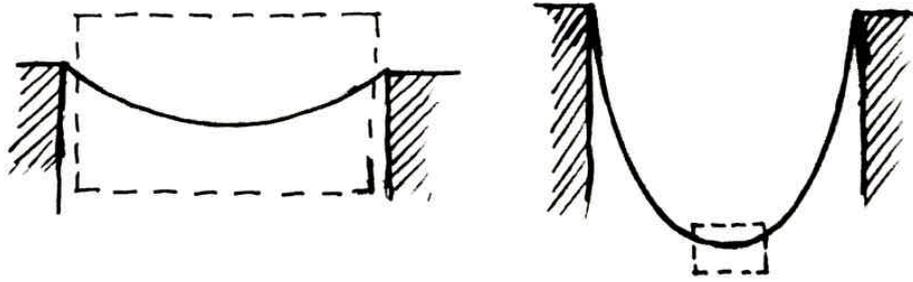


Figura 05: Diferença escalar da curva catenária

As vantagens da curva catenária são a uniformidade e a economia, pois ao contrário dos arcos semicirculares que requerem espessuras maiores, a curva catenária pode ser executada com uma espessura mínima. Outra vantagem consiste no fato de que ela é facilmente gerada através de experimentos práticos sem o uso de fórmulas matemáticas, bastando para isso a utilização de correntes. Esta técnica foi amplamente empregada pelo arquiteto catalão Antoni Gaudí que utilizava maquetes invertidas construídas com barbante e pesos para desenhar a forma estrutural de alguma de suas obras. Gaudí suspendia pesos que correspondiam às cargas que atuavam sobre a estrutura, cada conjunto de elementos comprimidos eram representados por fios e barbantes. (Figura 06)



Figura 06: Modelo de estudo invertido da Sagrada Família

2.2.5. Cúpulas Circulares

Cúpulas são abóbadas hemisféricas formadas por arcos rotacionados em torno de seus eixos. Estas formas tem rigidez excepcional, possibilitando a redução da espessura da casca. As seções verticais de uma cúpula são denominadas meridianos e as seções horizontais, paralelos. O paralelo de maior tamanho é chamado de equador. As seções paralelas e as meridianas constituem as seções principais de curvatura e tensão. Nelas são desenvolvidas tensões de tração e de compressão simples e se distribuem uniformemente em sua pequena espessura.

Na figura abaixo Salvadori (1998) analisa as tensões desenvolvidas em um paralelo, sendo possível observar as tensões de compressão na direção dos meridianos e de valor constante ao longo do paralelo, visto que a cúpula e as cargas são simétricas em relação ao eixo. Como isto, cada meridiano se comporta como um arco funicular de cargas aplicadas, ou seja, resiste as cargas sem desenvolver tensões flexão.

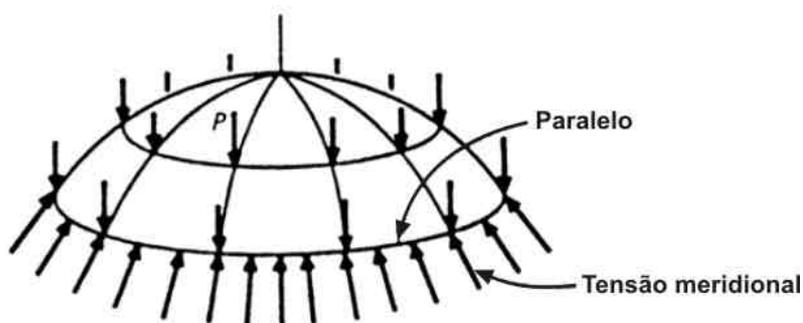


Figura 07: Tensões meridionais em uma cúpula esférica

Para Salvadori (1998) a principal diferença entre arcos e cúpulas é que os meridianos de uma cúpula são funiculares para qualquer sistema de cargas simétricas. Esta diferença é essencial quanto ao comportamento estrutural, pois enquanto os arcos isolados carecem de apoio lateral, os meridianos da cúpula encontram apoio nos paralelos, restringindo desta forma seu deslocamento lateral e desenvolvendo tensões de anel.

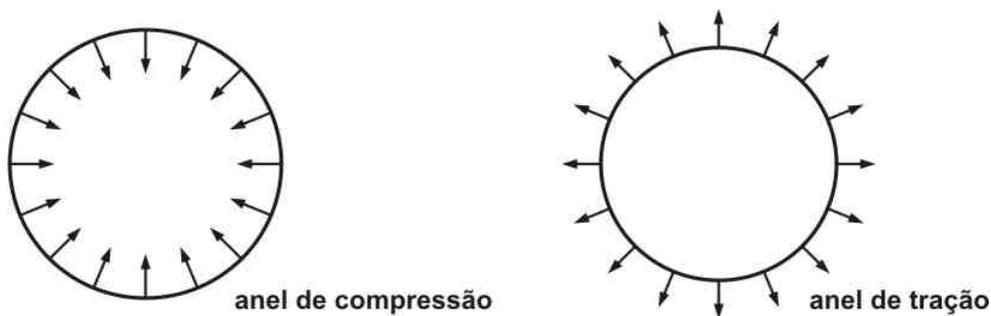


Figura 08: esquema de forças que atuam no anel de compressão (paralelos), e no anel de tração (equador ou borda).

Na cúpula, o paralelo inferior ou borda é maior que os paralelos superiores e é diferente destes, desenvolve tensões de tração enquanto os superiores desenvolvem tensões de compressão. Por isso, ressalta Engel (1981), é importante enrijecer ou reforçar a borda para o bom funcionamento do mecanismo portante. É fundamental este reforço para restringir a deformação da borda evitando ao máximo qualquer variação abrupta tanto na rigidez quanto na tendência de deflexão da superfície, evitando assim o aparecimento de esforços críticos na zona de junção. Salvadori (1998) destaca a importância do reforço da borda para evitar que as perturbações se propaguem pelo resto da casca ficando restritas às imediações da borda. Ele destaca que as perturbações de flexão mais freqüentemente observadas são produto do fenômeno térmico, entretanto. Quando há exposição ao sol, existe um aumento da temperatura da casca, e toda a cúpula se expande, aumentando seu raio e deformando-se de maneira uniforme. O deslocamento causado pelo efeito térmico é três vezes maior do que o produzido pelo peso próprio e demais cargas que atuam sobre a casca.

Por ter um comportamento funicular sob qualquer sistema de carga (simétricas ou assimétrica) a cúpula é estável, não mudando de forma para adaptar-se à variação de cargas, sendo estável em quaisquer circunstâncias, podendo por exemplo, resistir a cargas laterais como as desenvolvidas pelo vento. No entanto, ressalta Salvadori (1998), em uma cúpula com espessura de casca muito fina, se as tensões normais segundo os meridianos e paralelos não puderem absorver toda a carga, aparece um terceiro mecanismo para equilibrar a diferença: o mecanismo de corte. Para compreendermos como as tensões de corte tangencial se desenvolvem, podemos citar o exemplo da folha de papel ilustrado na figura

abaixo, no qual, sustentando uma folha de papel verticalmente por uma de suas bordas com uma das mãos, e com a outra fazendo uma carga no sentido vertical, a folha de papel resiste às cargas que atuam em seu próprio plano por tensões de corte tangencial.



Figura 09: desenvolvimento de tensão de corte em um plano; mecanismo de corte em uma cúpula

Salvadori (1998) afirma que para uma cúpula apresentar bom desempenho deve satisfazer a três condições para funcionar como casca:

- A cúpula deve ser delgada; deste modo, será incapaz de desenvolver um grau substancial de flexão.
- Deve ter curvatura adequada; dessa maneira será resistente e rígida, devido a resistência derivada de sua forma.
- Deve ter um apoio adequado; dessa maneira desenvolverá uma pequena flexão em uma porção limitada da casca.

Quando alguma destas condições não são atendidas, o que pode acontecer em função do projeto arquitetônico ou dificuldade de construção, a eficiência da estrutura da casca será reduzida.

A utilização de nervuras pode, por sua vez, potencializar a eficiência da casca aumentando significativamente a resistência da cúpula ao empenamento, sem que haja a necessidade do aumento da espessura da casca. A cúpula Lamela, por exemplo, é estruturada através de nervuras espiraladas e trabalham de maneira análoga aos arcos de “lamela” descritos anteriormente. A técnica de utilização de nervuras foi utilizada pelo arquiteto Italiano Pier Luigi Nervi na construção do

“Palazzetto dello Sport” para os Jogos Olímpicos de 1960, na cidade de Roma.
(Figura 10)

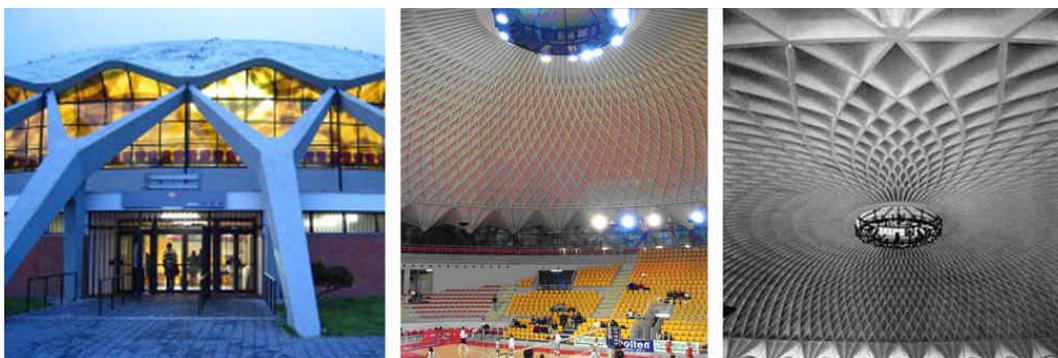


Figura 10: Cúpula Lamela

2.3. Compósitos

2.3.1. Generalidades

Segundo a Norma ASTM D3878-95, compósito é uma substância, consistindo de dois ou mais materiais, insolúveis entre si, que são combinados para formar um material de engenharia útil com certas propriedades que não se encontram nos materiais isoladamente. A denominação destes materiais é bastante diversificada, podendo ser tratados na literatura como: compostos, conjugados ou compósitos.

Os compósitos são, dessa forma, tanto criação do homem como criação da natureza, LÓPEZ (2004) afirma que todos os materiais biológicos encontrados na natureza são compósitos, por exemplo, a madeira, onde a matriz de lignina é reforçada pelas fibras de celulose e o osso que possui uma matriz de minerais reforçada por fibras de colágeno. Para MANZINI (1993), é como se, na natureza, sempre que a seleção natural exerce uma pressão genética para conseguir uma combinação de leveza e resistência mecânica, as “soluções técnicas” encontradas são caracterizadas na maior parte das vezes, por materiais complexos e compósitos.

Na vida cotidiana, os compósitos estão presentes em muitas situações, desde a confecção de comidas, até os materiais de que são feitos os produtos que compramos (bens de consumo). Muitas vezes eles são utilizados pelas pessoas de maneira empírica, ou seja, sem se dar conta de que estão manipulando um compósito. De acordo com COOK (1980), o uso de materiais compósitos remonta a antiguidade, podendo-se encontrar compósitos feitos pelo homem em construções milenares, onde a palha ou capim eram utilizados para reforçar tijolos de barro (adobe) secos ao sol.

A maioria dos compósitos feitos pelo homem é proveniente de dois materiais distintos: um material de reforço chamado carga, e um material base chamado matriz. MANZINI (1993) cita como exemplo a técnica do adobe, onde a argila atua como matriz e as fibras de palha como carga, garantindo a resistência mecânica. Este modelo rege todos os compósitos com matrizes poliméricas com reforço de fibras ou de filamentos não orientados (que aparecem sob a forma de tecidos não tecidos).

Para analisar o comportamento estrutural de um material compósito, é preciso observar não somente sua geometria e tipo de carregamento, mas também as propriedades dos materiais que o compõem. Assim, é preciso que haja uma perfeita combinação entre os materiais, sendo tal equilíbrio decidido de acordo com a necessidade estrutural e sua aplicação específica.

O sistema funciona com a interface entre dois materiais com a transferência da solicitação mecânica da matriz para a carga, sendo determinante para o comportamento mecânico dos compósitos: o tipo, a distribuição, a relação comprimento-diâmetro e a durabilidade das fibras, assim como o grau de aderência fibra-matriz. A principal função da matriz é manter as fibras juntas, mas ela também é responsável pela proteção das mesmas, garantindo sua integridade quando da exposição ao ambiente. Os compósitos, segundo GHAVAMI (2001), são considerados materiais estruturais. (Figura 11)

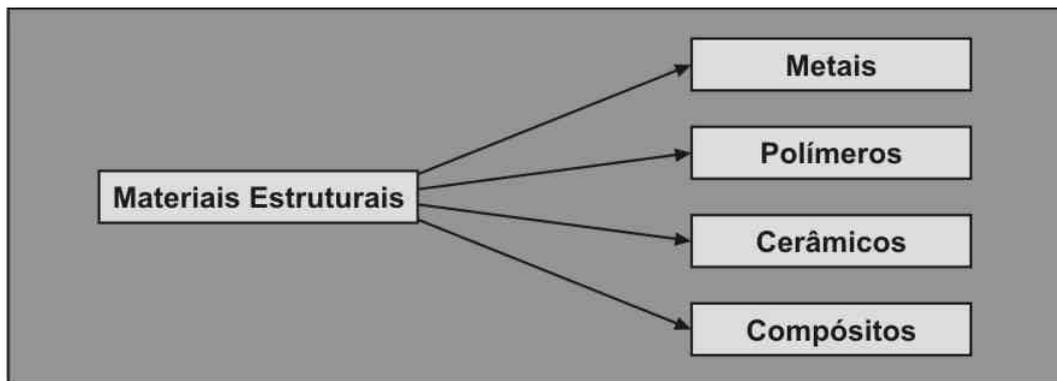


Figura 11 – Inserção dos compósitos como material estrutural. Adaptada de GHAVAMI (2001)

Os compósitos, de acordo com JONES (1975), podem ser distribuídos em três classes: compósitos com fibras, constituídos de fibras sintéticas ou de origem vegetal dispersas ou alinhadas dentro de uma matriz; compósitos laminados, que são constituídos de camadas de diferentes materiais, e compósitos particulados, que são partículas de determinado material inserido dentro de uma matriz. A classificação dos materiais compósitos e suas aplicações segundo GHAVAMI (2001), ocorre de acordo com o esquema da Figura 12. Porém o autor cita que os compósitos fibrosos são os mais frequentemente empregados, uma vez que as fibras se apresentam como a forma de reforço mais eficiente.

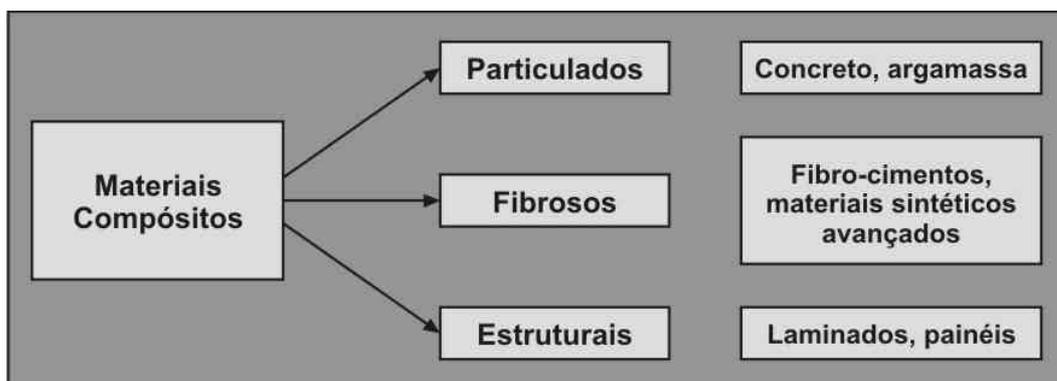


Figura 12 – Classificação dos materiais compósitos

Os compósitos fibrosos são constituídos de vários materiais que se encontram na natureza ou que são produzidos pela mão do homem. Assim, estes compósitos são confeccionados utilizando-se fibras e matrizes. As fibras são classificadas em naturais (vegetais, minerais e animais) e artificiais (metálicas poliméricas e cerâmicas). As matrizes são classificadas em naturais (poliméricas

como o látex) e artificiais (resinas sintéticas do tipo epóxi, metálicas como o alumínio, cerâmicas ou cimentícias).

De acordo com MANZINI (1993), a busca da leveza no setor dos compósitos está centrada nas fibras. Curtas ou compridas, orientadas ou não, em feixe ou tecidas, feitas dos mais diferentes materiais, as fibras são o impulsionador de quase tudo o que se fabrica neste campo. Um exemplo disso é o polipropileno que quando prensado em forma de fibra, quadruplica a sua resistência, o mesmo se passando com uma grande variedade de fibras, desde as vulgares fibras têxteis até as fibras mono cristalinas mais sofisticadas. Os Compósitos de fibras descontínuas apresentam como reforço pequenas fibras. Estas fibras, consideradas largas quando o comprimento é comparado com seu diâmetro, podem ser dispostas aleatoriamente ou ao longo de uma direção.

Os Compósitos de fibras contínuas são reforçados por longas fibras contínuas e são mais eficientes do ponto de vista de rigidez e resistência mecânica. As fibras podem ser todas paralelas (unidirecional), dispostas perpendicularmente (bidirecional) ou orientadas em vários ângulos (multidirecional).

As propriedades de um compósito dependem das características da matriz e – ponto crucial – da qualidade das interfaces dos seus componentes. A transmissão dos esforços efetua-se nesta interface. A matriz, que possui um certo grau de plasticidade, é sujeita a uma deformação.

O setor de construção civil é o que mais investe na construção de compósitos para vários usos, tal preocupação tem um motivo, pois de acordo com a pesquisa internacional realizada pela Civil Engineering Research Foundation (CERF), entidade ligada ao American Society of Civil Engineers (ASCE) dos Estados Unidos, a questão ambiental é uma das maiores preocupações dos líderes do setor. Estima-se que de todo o consumo de recursos naturais extraídos pelo homem, 15 a 50% é decorrente da atividade de construção civil. Temos como exemplo os Estados Unidos, Japão, Canadá, Europa e Brasil, países que têm nos

compósitos um mercado em franca expansão, fazendo jus ao ditado parisiense: "Les composites ont les vents en poupe".

Os materiais compósitos são considerados leves, flexíveis, duráveis, adaptáveis a algumas propriedades que garantem aos mesmos, o título de produto do futuro. Tais características fazem com que profissionais da engenharia, arquitetura, design, técnicos, procurem cada vez mais os compósitos como solução para seus problemas na área da engenharia.

Os materiais compósitos são utilizados pela indústria por uma característica principal, que é a de serem leves e resistentes. Na indústria automobilística, por exemplo, o imperativo é o de reduzir o peso para a confecção das peças componentes.

Como exemplo do que já está sendo pesquisado sobre compósitos vegetais, o setor automobilístico produz atualmente algumas peças de seus automóveis a partir de compósitos vegetais, sendo seus materiais oriundos de diversas plantas. (Figuras 13)



Figura 13 – Peças do modelo Classe A da Mercedes utilizando compósitos de PP reforçados com fibras de linho

Os compósitos são considerados como sendo de grande importância para o desenvolvimento industrial, já que possuem excelentes propriedades físico-mecânicas, estes podem ser utilizados tanto para a produção de pequenos artefatos como para a construção de grandes estruturas.

Apesar dos polímeros e seus derivados terem historicamente contribuído imensamente para o desenvolvimento tecnológico mundial, aumentando a qualidade de vida do homem moderno, o uso continuado destes materiais tem trazido preocupações para a sociedade. Isto porque, em sua grande maioria, apresentam baixa reciclabilidade e grande poder cumulativo na biosfera, particularmente devido a sua baixa biodegradabilidade e origem não renovável (petróleo). Felizmente, esforços vêm sendo concentrados no desenvolvimento de materiais biodegradáveis a partir de polímeros de ocorrência natural, como o amido e o poli (hidroxi)butirato, cujo emprego poderá diminuir nossa atual dependência dos derivados do petróleo e, ao mesmo tempo, minimizar o impacto ambiental decorrente de seu uso. Uma das alternativas mais viáveis para o uso de polímeros naturais consiste no desenvolvimento de compósitos, ou seja, materiais em que uma ou mais fases distintas (reforços) são incorporados em uma matriz homogênea para conferir ao produto melhores propriedades físicas e mecânicas. LUIZ et al (2001).

A utilização de fibras convencionais vem sendo substituída pela utilização de fibras vegetais, visto que, estas apresentam muitas vantagens, dentre as quais podemos destacar: São biodegradáveis; Mais leves; São produzidas por fontes renováveis; Possuem melhor capacidade no isolamento térmico e acústico; sua produção pode ocorrer no local em que serão utilizadas, garantindo assim economia no transporte.

Para Tolêdo Filho et al. (1997), fibras naturais, como sisal, coco, juta, bambu e fibra de celulose, constituem excelente alternativa para uso como elemento de reforço de matrizes frágeis, devido a sua abundância, baixo custo e consumo de energia para sua produção.

2.3.2. Compósitos de Terra crua e sisal

Segundo BETIN (2003) o fibrosolo é um nome concebido com o propósito de responder a um material compósito que associa terra crua com grande quantidade de fibra vegetal. Estas fibras participam nos compósitos de fibrosolo em uma dosagem proporcionalmente muito maior do que o comum das técnicas tradicionais que se utilizam de terra crua. O fibrosolo deriva de uma série de investigações e experimentos realizados no LILD que incorporaram conhecimentos tradicionais de construção com técnicas de laminados constituídos de fibras entrecoladas por resinas muito utilizadas no laboratório. A inovação neste compósito foi modificar a mistura tradicional de terra crua e fibras na sua dosagem, tendo o compósito uma quantidade bem maior de fibras, na variação do comprimento das fibras, na manipulação durante a feitura do material e na espessura, bem menor que as espessuras de terra crua usuais. A pesquisa com fibrosolo iniciou-se por volta de 2001 (Figura 14), quando este compósito passou a ser empregado com constância nos experimentos, principalmente com a preocupação de garantir qualidade nos fechamentos dos espaços construídos.

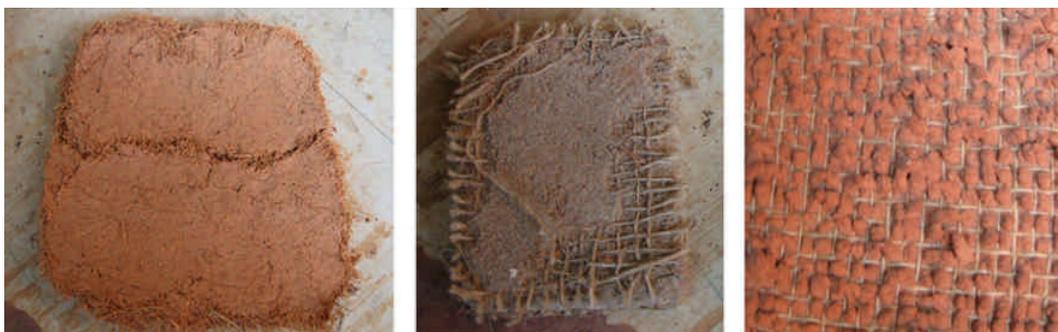


Figura 14 - Placas de fibrosolo sem revestimento, mostrando a grande quantidade de fibras agregadas ao solo

Neste ponto é importante ressaltar que a escolha das fibras a serem utilizadas no fibrosolo é fundamental. Neste trabalho, em especial, optamos por utilizar fibras de sisal (Figura 15), que correspondeu positivamente na associação com a terra crua, absorvendo bem a umidade e conseqüentemente as partículas do solo, tanto na forma de fios tramados, como dispersas e envolvidas no material.



Figura 15 – Fibras longas de sisal

Como as fibras são materiais naturais e heterogêneos, apresentam em relação a algumas propriedades, coeficiente de variação da ordem de 50%. Em ARSENE (2001) conhecemos, contando com este coeficiente de variação, por exemplo, os seguintes dados para as fibras de sisal – *Agave sisalana*: - densidade de 1370 kg/m^3 ; absorção de água em peso de 110%; deformação na ruptura de 4,3 %; resistência à tração de 458 MPa ; módulo de elasticidade de $15,24 \text{ GPa}$. Variam também segundo condições de clima, solo, idade e localização que se encontram. Do sisal que muito utilizamos nos experimentos sabemos também que quimicamente são compostas por lignina, 11 %; celulose, 73,1 %; hemicelulose, 13,3 %; cinzas, 0,33%; outros componentes 1,33 %.

Em relação às propriedades da terra crua, podemos dizer que é um material que tem grande capacidade de respiração e que há muito vem sendo utilizado pelo homem na construção.

Para uso em compósitos de barro as fibras não devem ser umedecidas anteriormente à mistura, para que absorvam a umidade contida no próprio barro. Como visto, as fibras absorvem mais de 100 % de água, em peso, devido à água que penetra em seus poros e também devido à captura de água de constituição, pelas hidroxilas da celulose.

Como trata Moreira (2008), destacam-se as seguintes propriedades plásticas para esse compósito, consequência da configuração, disposição ou padrão de fibras, do modo de aplicação do barro e sua consistência pastosa:

Autoportância: as peças são facilmente transportáveis ao local de aplicação.

Moldabilidade: colocada sobre um molde, assume qualquer geometria.

Maleabilidade: propriedade plástica associada à flexibilidade da unidade, à facilidade com que a unidade pode ser dobrada e encurvada no espaço.

Ajustabilidade interna: admite deslocamentos relativos internos das fibras em relação ao barro, para efetuar correções.

Reversibilidade: pode-se obter o material original, após a secagem, bastando-se para isso, que se umideça a peça.

Trata-se, portanto, de uma membrana, enquanto em estado úmido, que após a secagem, torna-se uma casca.

2.3.2.1. Terra crua

Em quase todos os climas (do temperado ao seco) do mundo, a terra tem sido o material de construção predominante. Na atualidade, um terço da humanidade vive em habitações de terra, e em países em desenvolvimento isto representa mais da metade da população. A terra é um material de construção natural mais importante e abundante na maioria das regiões do mundo. As técnicas utilizadas nas construções em terra, demonstram o valor deste material para autoconstrução.

De acordo com BETIN (2003), em todos os casos em que a terra crua é processada, o produto obtido é um elemento com características muito apropriadas no que diz respeito à capacidade de respiração do material. Diferentemente da cerâmica, que passa por processo de queima na confecção de tijolos e telhas, uma peça produzida com a terra crua permite adequações ambientais muito relevantes.

A terra pode ser retirada e reconduzida à natureza com mínimos prejuízos de ordem ambiental. Seu processamento não utiliza queima de combustível,

necessitando apenas de exposição ao sol. O fator mais relevante é que, em seu estado natural, a terra se comporta de maneira a equilibrar a umidade e a temperatura interna do ambiente construído.

Em comparação com outros materiais industrializados comuns, a terra crua apresenta três desvantagens:

- O barro não é um material padronizado:

Sua composição depende do lugar de onde se extrai, assim, suas características podem variar de lugar para lugar, sendo necessário um conhecimento prévio da composição específica do barro para poder trabalhar de acordo com as suas características locais e modificá-las com aditivos se for necessário.

- O barro se contrai ao secar:

Através da evaporação da água (necessária para ativar a capacidade aglomerante da argila) podem aparecer fissuras. Essa retração pode ser amenizada reduzindo a quantidade de água e argila, otimizando a composição granulométrica ou mediante o emprego de aditivos.

- O barro não é impermeável:

O barro deve ser protegido contra a chuva e umidade, principalmente no estado úmido.

Por outro lado o barro apresenta muitas vantagens em comparação com os materiais de construção industrializados:

- O barro regula a umidade ambiental:

O barro tem a capacidade de manter a umidade e resfriar o ambiente mais do que qualquer outro material de construção regulando assim, o ambiente interno das habitações e mantendo-as agradáveis.

- O barro é reutilizável:

O barro pode ser reutilizado ilimitadamente, sendo necessário ser triturado e umedecido com água para ser reutilizado.

- O barro economiza materiais de construção e custos de transporte: Geralmente o barro trabalhado na autoconstrução é oriundo do próprio local, diminuindo custos de transporte.

- O barro é apropriado para a autoconstrução:

As técnicas de construção com terra podem ser executadas por pessoas não especializadas em construção, somente uma pessoa experiente é necessária para controlar o processo de construção. As técnicas empregadas são ideais para trabalhos de autoconstrução, porque podem ser executadas com ferramentas simples e econômicas.

- O barro preserva a madeira e outros materiais orgânicos:

O barro mantém secos os elementos de madeira e os preserva quando estão em contato direto com eles, devido a sua capacidade de equilíbrio de umidade, mantendo-a entre 0,4 e 6% em peso e a sua alta capilaridade.

Propriedades da terra como material de construção

A terra é o produto da erosão das rochas na superfície terrestre. A erosão ocorre fundamentalmente através da pulverização das rochas provocadas por movimentos glaciais, da água e do vento, etc. A terra é uma mistura de argila, silte e areia, que algumas vezes contém agregados maiores, como pedras. A argila atua como aglomerante para unir as partículas.

Os componentes orgânicos de um solo extraído de uma profundidade menor que 40cm são em geral matéria orgânica e húmus (produto da decomposição de plantas), sendo recomendado então, para as construções com técnicas tradicionais de terra crua, a utilização de terra de uma camada inferior. Pode-se observar a presença de matéria orgânica pela coloração do solo, solos orgânicos apresentam terra na cor preta. A coloração do solo é afetada diretamente pela quantidade de

minerais existentes no solo. O Óxido de Ferro hidratado, e outros compostos ferrosos, dão à argila uma coloração amarela ou vermelha. Compostos de cal e magnésio uma coloração branca, enquanto uma coloração marrom indica a presença de manganês no solo.

O grau de porosidade se define pelo volume de todos os poros do barro. Mais importante que o volume dos poros são as dimensões dos mesmos. Quanto maior a porosidade maior a difusão de vapor e maior a resistência a rachaduras.

Para verificar se um solo é apropriado para uma aplicação específica, é necessário conhecer sua composição. Assim, são empregados alguns ensaios de laboratório e simples ensaios de campo.

Dentre os ensaios de laboratório temos o que está descrito na Norma DIN 18123, que consiste na análise da proporção dos agregados e a sedimentação.

Já os ensaios de campo podem nos indicar a possibilidade de uso de determinado solo, podem ser feitos no local em curto período de tempo, sendo suficientes para estimar a composição do barro para uma aplicação específica. Dentre estes ensaios, temos o ensaio de odor, o ensaio de mordedura e o ensaio de corte.

2.3.2.2. Sisal

Do gênero *Agave spp.L.*, família *Agavaceae*, o sisal é uma planta utilizada para diversos fins comerciais. A *Agave sisalana* é de origem mexicana, e no Brasil os primeiros bulbilhos da planta foram trazidos pelo Comendador Horário Uripia Júnior, sendo difundida inicialmente no Estado da Paraíba e depois na Bahia.

Em termos de produção, o Brasil ocupa o posto de maior produtor mundial de sisal, sendo a Bahia o Estado responsável por 80% da produção da fibra nacional.

No Brasil, a planta é cultivada em regiões semi-áridas, por ser resistente à aridez e ao sol intenso do sertão nordestino e se configura na fibra vegetal mais

dura que existe. A parte que mais se utiliza da planta são as suas fibras, oriundas das folhas, que após serem beneficiadas são destinadas à indústria de cordoaria (cordas, cordéis, tapetes, etc). Nas décadas de 60 e 70 o sisal teve seu apogeu econômico, conseqüência da Crise do Petróleo.

O que proporcionou o uso intenso das fibras de sisal foi à necessidade de preservação da natureza e a forte pressão dos grupos ambientalistas, que exigem o incremento da utilização de fios naturais. (Figura 16)



Figura 16 – Aspecto do sisal. Fonte: Wikipédia.

Aos três anos de vida da planta, o sisal é utilizado para transformação de fios, é quando suas folhas atingem cerca de 140 cm de comprimento que podem resultar em fibras de 90 a 120 cm. As fibras representam apenas 4 a 5% da massa bruta da folha do sisal. As folhas são cortadas a cada 6 meses durante toda vida útil da planta que é de 6/7 anos. Ao final do período é gerada uma haste, a flecha, de onde surgem as sementes de uma nova planta. Uma das vantagens em seu manejo é pode ser colhido durante todo o ano.

Os principais produtos derivados do sisal são os fios biodegradáveis que são utilizados em:

Artesanatos;

No enfardamento de forragens;

Cordas de várias utilidades, inclusive navais;

Produção de estofados;

Pasta para indústria de celulose;

Produção de tequila;

Tapetes decorativos;

Na indústria automobilística, substituindo a fibra de vidro (Figura 17).

É importante observar que uma fibra sintética demora até 150 anos para se decompor no solo, enquanto uma fibra do sisal, em meses, torna-se um fertilizante natural.



Figura 17 – uso da fibra de sisal no setor automobilístico

1.3.3. Bambu

Com o crescente aumento no consumo de energia e conseqüente aumento da poluição, o meio acadêmico vem pesquisando materiais de origem vegetal que possibilitem o não uso de produtos industrializados e de fontes não renováveis, como o petróleo. Devido a sua grande resistência à tração, facilidade no plantio e rapidez de crescimento, o bambu vem sendo estudado como um dos materiais alternativos na construção civil, GHAVAMI (1988).

Motivados pela escassez de habitações populares no Brasil, estudos sobre o uso do bambu e outros materiais alternativos para construção vem sendo

estudados na PUC-Rio desde 1985. O LILD, já trabalha com esta planta de forma bastante eficiente, como mostrado anteriormente.

O bambu é tido como um dos materiais de construção mais antigos, dados bibliográficos nos mostram que regiões tropicais, Ásia, Oceania e América do Sul de onde as mais de 1000 espécies de bambu são originárias souberam aproveitar as qualidades e potencialidades deste material secular, não somente na construção, mas também como alimento, na produção têxtil e de papel.

O interesse crescente pelo bambu como matéria-prima fibrosa deve-se à suas várias possibilidades de utilização, tanto em nível industrial para produção de celulose e papel, como em processos autoconstrutivos de ecocompósitos.

Uma das características marcantes do bambu é a sua velocidade de crescimento, podendo atingir mais de 0,50 m em 24 horas. É justamente esse rápido crescimento vegetativo das touceiras que viabiliza elevadas produções de material fibroso por unidade de área, em ciclos relativamente curtos de colheita (2 a 3 anos), em comparação com as espécies arbóreas, PERAZZO (2003).

De acordo com SASTRY (1999), o bambu hoje em dia contribui para as necessidades de sobrevivência de mais de um bilhão de pessoas, tendo acompanhado o desenvolvimento do homem desde tempos imemoriais. Acrescenta que ao lado de usos tradicionais do bambu, como abrigo, alimento, artesanato, móveis e instrumentos musicais, alguns usos industriais do bambu estão sendo desenvolvidos e melhor conhecidos, como polpa e papel, materiais de engenharia e construção e também produtos como painéis, pisos e elementos estruturais.

Na Europa e América do Norte o interesse por esta planta vem crescendo desde os anos 70, por ter um rápido crescimento vegetativo e qualidades ecológicas, abrindo portas para novas aplicações nas áreas da engenharia industrial, civil, design, arquitetura e energias renováveis.

Tal como a madeira, o bambu também é vulnerável ao ataque de insetos e às intempéries ambientais. Assim, é preciso alguns cuidados especiais com o uso deste material para fins de construção. A durabilidade do bambu depende muito da espécie, idade, procedimento correto de conservação e tratamento o qual deve começar logo quando o bambu é cortado. O bambu deve ser seco para diminuir sua umidade, a qual quando inferior a 15% diminui o risco de ataques por insetos, além de melhorar as propriedades físicas e mecânicas, GHAVAMI (1988).

A configuração e estrutura do bambu são características que justificam seu uso como material de construção. O colmo do bambu é uma secção redonda e organiza-se por uma sucessão de nós maciços (diafragmas) e entrenós ocos, embora existam espécies que apresentam entrenós maciços como o *Chusquea* e o *Dendrocalamus strictus*, GHAVAMI (1995).

Segundo STANFORD LYNX (2005), a parede do colmo é constituída por fibras de poucos milímetros, feitas de lignina e silício, alinhadas paralelamente entre elas e envolvidas no tecido parenquimal proporcionando propriedades mecânicas construtivas excelentes. Segundo Stanford Lynx, a parede das células do bambu é um composto feito de um rígido polímero de celulose em uma matriz de lignina e hemiceluloses. O silício agrega resistência mecânica ao bambu. A matriz de lignina dá flexibilidade.

É preciso observar que quanto maior for a parede do colmo, mais probabilidade terá de se romper, pois as fibras que conferem resistência ao bambu ocupam 40% da parede e estão situadas maioritariamente na parte exterior do colmo.

Passando por usos tradicionais até as aplicações mais modernas, o bambu pode ser trabalhado na construção de diversas formas: colmo inteiro para elementos estruturais e terra armada; seções de colmo para preenchimento de painéis sandwich; ripas para pavimento; laminados; ripados; tiras para contraplacado; vigas; pilares; fibras para blocos; painéis; concreto armado; lascas para blocos; moldes; painéis; entre outros.

O bambu pertence à família das gramíneas (*Poaceae*), subfamília *Bambusoideae*, LOPES (2003). Este vegetal pode ser considerado como um material compósito natural no qual a lignina atua como matriz e as fibras de celulose como reforço. A lignina é um armazenador de energia sendo responsável pela transferência de tensões entre as fibras.

A fração volumétrica destas fibras varia ao longo da seção transversal do bambu, sendo que na parte mais externa a fração volumétrica é maior em relação à parte mais interna, GHAVAMI (2003).

Quando a seção transversal do bambu é cortada, vários pontos de cor escura podem ser observados. Esses pontos são feixes de fibras circundados por canais vasculares. A estrutura anatômica da seção transversal é determinada pelo formato, tamanho, disposição e número de canais vasculares como pode ser visto na figura 18. Estes são compostos por tecidos ditos mecânicos, os quais são formados por fibras e por vasos condutores sendo estes formados por dois vasos, o metaxilema e o floema, e pela protoxilema que são as artérias principais. Os vasos vasculares são cercados por células parenquimatosas. A espessura da parede do colmo decresce da base até o seu topo, devido à redução de sua parte interna, contendo mais vasos parenquimáticos e menos vasos vasculares. A parte superior do colmo que contém mais vasos vasculares e menos parenquimáticos, possui maior densidade. Assim, as resistências à tração e à flexão aumentam com o aumento da altura do bambu, LOPEZ (2003).



Figura 18: estrutura anatômica da seção transversal

2.4. Técnicas Construtivas

2.4.1. O homem e a arquitetura vernacular

As cavernas deram ao homem primitivo sua primeira concepção de espaço arquitetônico e marcam a passagem da vida nômade para a sua definitiva fixação no território. Estima-se que esta transformação tenha ocorrido há quinze mil anos no período mesolítico, pois desta época é que os arquitetos encontram provas de colonização permanente, da Índia até o Mar Báltico: as primeiras cidades primitivas. Segundo Mumford (1991), somente quando o homem torna-se capaz de defumar e salgar sua carne, plantar vegetais comestíveis e criar animais domésticos é que ele encontra condições de se fixar no território em grupos sociais maiores, visto que, antes disso, a caça e a coleta de alimentos sustentavam menos de quatro pessoas por quilômetro quadrado, o que obrigava o homem a ter vida nômade e se manter em pequenos grupos sem objetos pesados para transportar. Contudo, segundo este mesmo autor ressalta, antes mesmo de se estabelecer em aldeias, o homem paleolítico já se utilizava das cavernas como pontos sagrados de encontro social ao qual retornavam periodicamente para a realização de cultos. Segundo Mumford (1991) foram os primitivos cemitérios e não as aldeias, os primeiros exemplos de construções feitas pelo homem no território, presentes desde o período paleolítico. Assim como as cavernas que eram apropriadas temporariamente para acampamentos ou utilizadas como local sagrado de culto, os cemitérios eram pontos fixos no território para onde os grupos humanos sempre retornavam. Desta forma a “morada dos mortos” foram edificadas muito antes da “moradas dos vivos”. Os materiais utilizados nestas construções primitivas eram aqueles encontrados na natureza, utilizados praticamente em seu estado natural e adequados às ferramentas disponíveis.

2.4.1.1. Arquitetura Vernacular

Arquitetura vernacular é todo tipo de arquitetura em que se empregam materiais e recursos do próprio meio em que a edificação é construída

apresentando caráter local ou regional. Weimer (2005) no livro *Arquitetura popular brasileira*, defende o uso da terminologia *arquitetura popular ao invés de vernacular* por entender este último como pejorativo e colonizado, significando “*escravo nascido na casa do senhor*”. Já a denominação *Arquitetura Popular*, na sua opinião seria mais completa, também se referindo à arquitetura anônima, de domínio público, que nasce do povo e é realizada utilizando técnicas construtivas que utilizam materiais fornecidos pelo meio ambiente. Neste estudo consideramos que o termo *popular* pode, por outro lado, gerar imprecisões como por exemplo em relação às construções das favelas que não utilizam técnicas nem materiais advindos da natureza, mas que também nascem do povo. Por este motivo, apesar da polêmica levantada por Weimer em relação à terminologia, utilizaremos o termo *vernacular*. A arquitetura vernacular, entendida como arquitetura “não erudita” ou que não está sujeita prioritariamente a uma intenção plástica, é praticada desde o homem primitivo, pois este se utilizava dos materiais disponíveis em seu meio que pudesse transportar e manusear com as próprias mãos e ferramentas rudimentares de fácil fabricação e substituição. Podemos citar como exemplos da arquitetura vernacular brasileira as construções que se utilizam majoritariamente de folhas, fibras, madeiras, terra ou pedras sem a utilização de materiais industrializados. São construções que ainda se fazem por tradição cultural, pela dificuldade de acesso a materiais de construção industrializados seja por limitações econômicas, seja pela dificuldade de acesso físico ao sítio.

Segundo Weimer (2005) a arquitetura popular teria como características principais:

- Simplicidade - resultado da utilização de materiais do meio-ambiente
- Adaptabilidade - a capacidade de adaptação a diferentes climas, sítios, culturas, não esquecendo de acrescentar a excelente integração paisagística.
- Criatividade - é mais livre na utilização de técnicas construtivas e materiais de construção que a arquitetura erudita que por sua vez é mais controlada e dominada pelas recentes conquistas tecnológicas.
- Valorização da Técnica Construtiva - ao contrário da arquitetura erudita cuja forma é o primordial e a técnica construtiva varia em função da

forma, na arquitetura popular, a forma deriva da técnica construtiva, sendo o seu resultado.

- Respeito às tradições culturais - resultado da evolução multissecular e de profundo respeito às tradições culturais do grupo.

2.4.2. Exemplos da natureza

Na natureza os animais são capazes de identificar locais que sirvam de abrigo para ali se estabelecerem de forma temporária ou permanente dependendo da espécie. Muitas criaturas se reúnem em grupos para a reprodução e o cuidado com os filhotes, e se agrupam em abrigos que são viveiros para a reprodução e nutrição do grupo. Suas habilidades corporais e sua organização social permitem que executem melhorias nestes abrigos naturais ou construam novas estruturas como as colméias das abelhas, cupinzeiros ou os ninhos das aves. Entre os castores, por exemplo, a colonização acarreta uma deliberada remodelação do ambiente: a derrubada de árvores, a edificação de represas, a construção de moradas. (Figura 19)



Figura 19: casa de castores com entrada submersa construída com gravetos

A função social da colméia, do formigueiro e do cupinzeiro guardam semelhanças com as cidades humanas e suas divisões sociais, a divisão do trabalho, a diferenciação de castas, a prática da guerra. Os cupinzeiros são obras notáveis de engenharia física e estrutural e suas colônias são construídas de barro, formando uma rede de galerias que servem como túneis de circulação, ventilação e esgoto; câmaras internas com abóbadas e até mesmo colunas. Segundo

Vasconcelos (2000) as partículas de barro são escavadas para a produção de túneis e transportadas para fora da terra transformam-se numa espécie de “solocimento”, moldada enquanto está úmida e misturada com a saliva do próprio cupim, que age como aglomerante, e com suas fezes esféricas, que misturadas à massa atuam como aglomerado. (Figura 20)

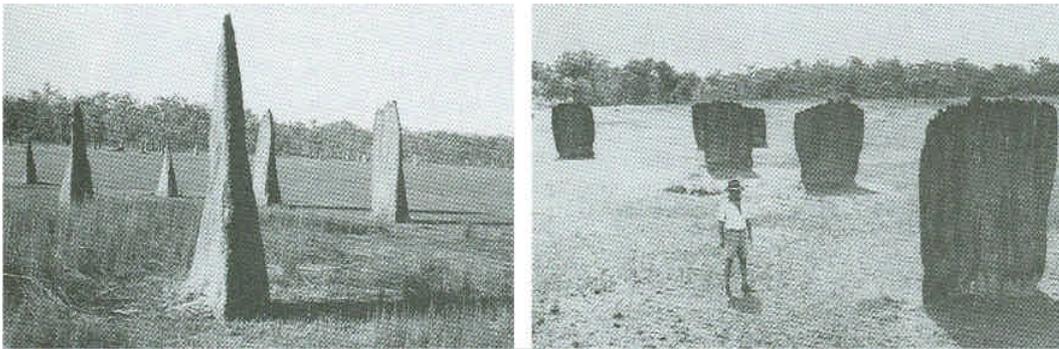


Figura 20: Construções gigantescas dos “cupins bússola” no deserto australiano

A tendência para fixar-se e repousar, para retornar a um ponto favorável que oferece abrigo e boa alimentação, existe em muitas espécies animais. Os ninhos são estruturas construídas pelas aves para procriarem, pois ali põem os ovos e permanecem protegendo-os até que os filhotes nasçam e cresçam até atingirem idade suficiente para sua independência. Entre algumas espécies de pássaros verifica-se uma ligação ao mesmo ninho para reprodução, estação após estação.

Em geral os ninhos das aves são construídos em árvores através da utilização de pequenos ramos, ervas ou penas. Diferem entre si em tamanho, implantação, materiais construtivos e forma, dependendo do tipo de ave, mas podemos dizer que em geral os ninhos são:

- Estruturas de abrigo provisório, executados com materiais encontrados no ecossistema e que podem ser carregados por pássaros no vôo.
- São executadas sem ferramentas especiais, apenas com as habilidades corporais dos pássaros.
- Possuem trama fechada o suficiente para que os ovos não caiam das árvores, retenham calor e estejam parcialmente abrigados das intempéries e de predadores.

- São moldáveis, permitindo a boa acomodação dos ovos de forma que as aves adultas possam distribuir seu peso sobre os ovos de forma equilibrada, evitando que se quebrem.

Dependendo do tipo de material utilizado os ninhos podem ser mais ou menos duráveis. O João-de-barro, como é conhecido no Brasil e na Argentina, faz seu ninho com a utilização de um composto formado por barro, saliva e fibras, ninho este que pode durar anos servindo a mais de um pássaro. Pertencente ao gênero *Furnaridae*, que constrói ninhos com barro moldado, o pássaro se diferencia por não eleger cavidades naturais como ocos de árvores, rochas ou buracos no chão como sítio preferencial para seus ninhos. Ele os faz como estruturas autônomas de barro na forma esférica, fixadas em árvores, postes, telhados ou cercas. É interessante observar algumas regras na hora da implantação: O ninho esférico terá a sua abertura sempre voltada para o norte a fim de evitar os ventos fortes, e terá uma meia-parede nesta entrada, de forma que para entrar no ninho o pássaro precisa se esgueirar pela parede até encontrar o vão que lhe permite o acesso, tarefa facilmente desempenhada pelo passarinho, mas não por seus predadores. O ninho do João-de-barro é, portanto uma estrutura muito bem protegida das intempéries e dos predadores. (Figura 21)



Figura 21: Ninho do João-de-Barro

Segundo Vasconcelos (2000), para construí-lo o pássaro escolhe uma região que dispõe de barro, em geral barro vermelho. Próximo à fonte desta matéria-prima o João-de-barro construirá seu ninho, apanhando pequenas porções de barro com o bico e misturando-a à sua saliva para adquirir a consistência necessária para ser depositada no local desejado e habilmente moldada utilizando para isto as próprias asas. Durante este processo que se repete inúmeras vezes, o pássaro também recolhe fibras existentes nos arredores como pequenos ramos, palha ou esterco de vaca misturando-as ao barro, evitando que depois de seco, o ninho sofra rachaduras. São estas as propriedades essenciais do compósito, que antes de seco detém a plasticidade necessária para sua moldagem e que depois em estado sólido apresenta-se perfeitamente funcional por ser rígido, estável e não apresentar rachaduras.

Outro exemplo presente na natureza e particularmente interessante para esta pesquisa vem de outra ave, o pássaro tecelão. O *Malimbus Cassini*, originário da África, constrói seu ninho fazendo um intrelaçado de fibras como um cesto e chama atenção pela perfeição deste trabalho. Utilizando fibras vegetais extraídas de gramíneas, ele é capaz de dar laços e até nós entre os filamentos de fibra utilizando para isto o bico e as patas (Figura 22). A trama resultante é bem homogênea e delicada e Vasconcelos descreve assim o seu processo de construção:

Em primeiro lugar escolhe-se uma bifurcação em forma de Y invertido. A ave, carregando em seu bico uma fibra vegetal extraída de uma gramínea, enrola-a miraculosamente nos ramos em Y com o auxílio exclusivo de seu bico e as patas, de forma que ela fique presa apenas por atrito. A fim de que esse atrito tenha força suficiente, torna-se necessário dar alguns puxões de maneira a criar forças normais de contato. Com diversos laços e nós a primeira fibra e outras posteriormente adicionadas tornam-se firmes o suficiente para servir de ponto de sustentação de novas fibras, sem que seja preciso usar os ramos originais para essa finalidade. Cada fibra acrescentada é objeto de cuidadosas arrumações, exigindo longo tempo de trabalho e muita habilidade adquirida apenas geneticamente. (Vasconcelos, 2000)

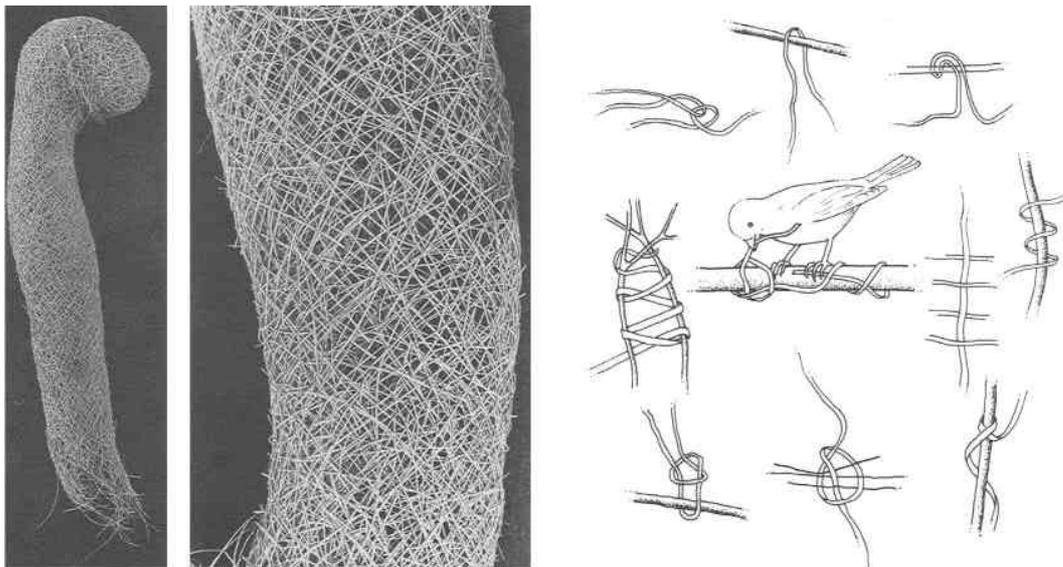


Figura 22: Ninho de *Malimbus cassini* em conjunto e em detalhe; diversos tipos de nós executados por um pássaro tecelão

Em geral os ninhos dos pássaros são construídos por ramos de vegetação, pequenos gravetos, penas entre outros elementos que são arranjados e emaranhados entre si pela ave que utiliza o bico e as patas, até adquirirem coesão suficientes para se auto-estruturarem, constituindo uma “forma aberta”, uma espécie de “cama”. O ninho do pássaro tecelão se distingue pela perfeição da amarração entre as fibras e por constituir uma “forma fechada”: uma composição que se estrutura pela forma em casulo ou esfera e cuja construção é muito mais complexa de se executar.

2.4.3. Processos Construtivos com terra crua

A terra é o material de construção natural mais importante e mais abundante na maioria das regiões do mundo. Diversos povos usaram e ainda usam a terra crua para construir habitações. O solo provavelmente foi a primeira e mais antiga argamassa empregada pelo homem, pois desde o período mesolítico que o solo é utilizado nas construções em telhados e paredes. Minke (2005) afirma que em quase todos os climas secos e temperados do mundo a terra tem sido o material de construção predominante, que um terço da população mundial vive atualmente em casas de terra, e que em países em desenvolvimento este número chega a quase à metade da população. O autor cita alguns exemplos importantes da arquitetura mundial que utilizam o barro como elemento principal como a

grande muralha da China (construída há 4000 anos), o centro da pirâmide do sol em Teotihuacán, México (construída de 300 a 900 anos); o templo mortuário de Ramsés II em Gourná no Egito (construído há mais de 3000 anos) e a maior parte das mesquitas da África ou do Irã.

Existe uma grande variedade de técnicas construtivas que utilizam a terra crua para a construção no mundo todo. Segundo Alexandria (2006), estas técnicas apesar de guardarem peculiaridades culturais, condicionantes ambientais e tipos de solos diferentes guardam muitas semelhanças entre si. O CRATerre, um laboratório de pesquisa ligado à Escola de Arquitetura de Grenoble, na França dedica-se desde 1979 a pesquisar como se trabalha com terra crua em diferentes regiões do planeta.

O diagrama abaixo é uma classificação feita pelo CRATerre onde é possível identificar diferentes métodos, como a terra cortada(6), moldada à mão (4), empilhada (3), moldada em formas como o adobe (11, 12 e 13), extrudada (10), armada como a taipa de mão (14 e 15), conformada como a taipa de pilão (16); entre outras. (Figura 23)

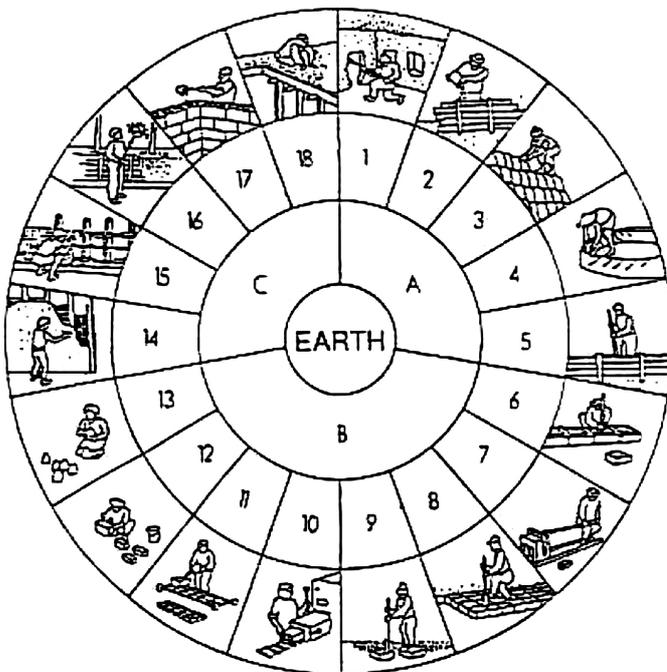


Figura 23: As diferentes técnicas de construção em terra crua segundo CRATerre
Disponível em: www.craterre.archi.fr. Acesso em 01 mar 2008.

2.4.3.1. Adobe

Segundo o Dicionário Ilustrado de Arquitetura Adobe é uma peça de barro em forma de paralelepípedo, semelhante ao tijolo de barro, utilizado em alvenarias, diferenciando-se deste por não ser cozido no forno, mas seco à sombra e depois ao sol, por isso também é chamado de tijolo cru. Segundo Weimer (2005) na forma mais usual do adobe o barro é compactado dentro de uma armação ou fôrma de madeira que lhe confere a forma de um prisma geométrico. Já sendo conhecido na Antiguidade Mesopotâmica e Antiguidade Clássica é uma técnica universal por já ter sido utilizado em todos os continentes. Segundo a revista *Habitare* (2004), a técnica de confecção de tijolos a base de solo foi adaptada pelos gregos e romanos na Antiguidade Clássica que passaram a utilizar solo vulcânico (cinza vulcânica decomposta hoje conhecida como pozolana) e cal há cerca de 8 mil anos, chamados de *cimento de cal*. Esta mistura permitiu a construção de inúmeros aquedutos, pontes, fortes, cisternas, templos, entre outras.

O adobe que segundo Alexandria (2006) é um termo espanhol que deriva do árabe *attob* e de *thobe* que em egípcio significa tijolo seco ao sol é composto de argila e pequena quantidade de areia, pode receber em sua composição estrume, fibra vegetal ou crina para aumentar sua resistência, porém, segundo Lima (1998), é mais comum a adição de capim ou palha. Executado desta forma e secado ao sol o adobe adquire maior resistência e permite que seja assentado com argamassa de barro. Weimer (2005) lembra que os adobes moldados também podem ser empregados ainda úmidos na construção das paredes, o que permite que se soldem entre si, dispensando argamassa.

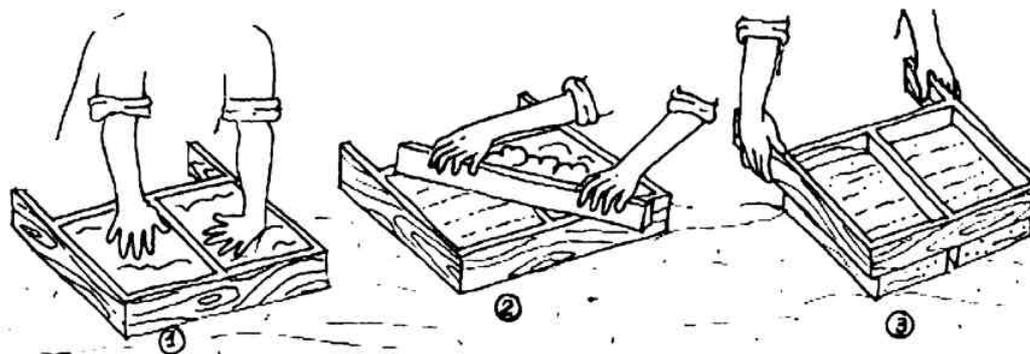


Figura 24: processo manual de moldagem de tijolos em adobe

2.4.3.2. A contribuição de Hassan Fathy no resgate de técnicas vernaculares

Na década de 1940 o arquiteto egípcio Hassan Fathy embora de formação neoclássica pela Escola Politécnica de arquitetura, ao invés de aderir ao movimento modernista em voga na Europa, procurou o caminho inverso, recuperando da arquitetura vernacular egípcia feita em terra crua, técnicas antigas de construção em tijolos de adobe. Quando veio a guerra e o seu país sofreu uma bruta queda na construção civil, pois o preço do aço e da madeira que eram importados tornaram-se proibitivos para um país tão pobre como o Egito, esta busca tornou-se valiosa, e Fathy conseguiu levar a camponeses e à elite egípcia bons projetos construídos com tijolos de adobe como se faziam há séculos:

Durante anos, durante séculos, o camponês vinha sábia e tranqüilamente explorando o material de construção óbvio, ao passo que nós, com nossas idéias modernas aprendidas na escola nunca pensávamos em usar um material tão ridículo como o adobe para uma criação tão séria quanto uma casa. (Fathy, 1982)

O seu legado não foi somente fazer projetos e obras construídas com tijolos de adobe, exemplo do feliz encontro entre arquitetura erudita com a técnica vernacular, mas explorá-la ao máximo em suas múltiplas possibilidades, considerando além das paredes a execução da cobertura em adobe. A construção do telhado das casas utilizando madeira para a estrutura no Egito da década de 40 tornava as construções pouco econômicas, pois a madeira precisava ser importada, a construção de abóbodas com tijolos era própria da tradição local, porém usualmente construída com fôrmas de madeira incorria no mesmo problema, pois demandava o trabalho prévio de um carpinteiro para fazer um cimbri e estrutura de madeira que era em si, uma abóboda de madeira completa, o que era dispendioso. Para tentar uma alternativa mais econômica Fathy resgatou a antiga técnica de construção das abóbodas Núbias, onde as abóbodas eram construídas em alvenaria de adobe sem a utilização de formas.



Figura 25: Processo de execução da abóbada Núbia

A técnica de construção das abóbadas Núbias com tijolos de adobe foi divulgada por Fathy através do livro *Construindo com o Povo* (Fathy, 1982). Nesta obra ele relata a experiência de projetar e construir uma aldeia para 7000 camponeses, Nova Gurna, um plano piloto pedido pelas autoridades egípcias para remover a aldeia de seu local original, um sítio arqueológico de um cemitério milenar. Suas pesquisas e experimentações o levaram à decisão de construí-la da maneira mais econômica possível utilizando a própria terra com tijolos de adobe, cujo processo de fabricação ele descreve assim:

O tijolo padrão de Gurna era de um tamanho e de consistência fixos, de forma a ser uma unidade confiável e capaz de ser incorporada ao nosso planejamento; para fazê-lo necessita-se de terra comum, proveniente do próprio terreno, areia do deserto, palha e água. A terra e a areia são misturadas numa proporção de 1:1/3 por volume. Essa mistura, a que chegamos por meio de experiências, deu bons resultados, produzindo um tijolo que não se retraía excessivamente e que era econômico em termos de palha. Para cada metro cúbico de mistura adicionava-se 20,43 kg de palha e misturávamos tudo com água. Deixava-se a mistura ficar embebendo e fermentando durante, no mínimo 48 horas; a fermentação produz ácidos lácticos que tornam os tijolos mais resistentes e menos absorventes do que os feitos às pressas, ao passo que a palha de mistura de tal forma com a terra que o tijolo adquire uma homogeneidade de textura altamente desejável... Depois essa mistura é carregada em cestas até o local de moldagem onde o tijoleiro toma de um pequeno molde manual. Este molde consiste simplesmente de uma moldura retangular desprovida das partes inferior e superior. O tijoleiro coloca-o no chão, enche-o de adobe e o suspende. O tijolo fica moldado no chão, sobre o qual se espalhou uma mistura de areia e palha....Os tijolos recém-moldados são deixados ao sol, para secar, sendo virados depois de três dias e levados para as pilhas depois de seis dias. Lá eles permanecem durante o máximo de tempo possível, de preferência durante todo verão, para secarem completamente antes de serem usados na construção.(Fathy, 1998)

2.4.3.3. Taipa de Pilão

No Brasil as técnicas de construção utilizando o solo foram amplamente utilizadas até meados do século XIX, pois quando em 1845 surge o cimento

Portland, estas ficaram restritas às áreas rurais. Até então, entretanto, as técnicas mais utilizadas eram além do adobe, as taipas, que segundo historiadores foram disseminadas pelos portugueses, especialmente a taipa de pilão que já era utilizada em Portugal e colônias. Derivada da técnica francesa da “*terre pisée*” já utilizada pelos celtas, acreditava-se que esta técnica chegou à Península Ibérica com a invasão dos celtas a partir do século IX a.C, embora Weimer (2005) lembre que há correntes que sustentem que esta influência foi dada pelos berberes do norte da África e não pelos celtas.

Trata-se da terra aprisionada e socada entre dois tabuados laterais de madeira que lhe servem de forma e que são amarrados entre si na parte superior e inferior com peças chamadas cangalhas ou agulhas. As fôrmas laterais chamadas também de taipais tem aproximadamente sessenta centímetros de altura, dimensão que permite que a terra seja socada em camadas de dez a quinze centímetros de altura através da utilização de um pilão ou dos pés. Quando o taipal é retirado, o trecho da parede já está pronto para receber cargas, mas precisando ainda secar. No processo de secagem costumam aparecer fissuras. Segundo Weimer (2005), o modo de garantir a solidez das paredes é acrescentar fibras animais como crina de cavalo, lã de ovelha ou fibras vegetais como capim, galhos, agaves, entre outros. As paredes de barro são estruturas monolíticas normalmente de grande espessura, tendo no mínimo cinquenta centímetros. Segundo Minke (2001), por serem monolíticas tem maior durabilidade, considerando também que em comparação com técnicas em que o barro se utiliza em estado mais úmido, a taipa de pilão apresenta uma retração muito mais baixa e maior resistência. Seria para o autor, entretanto, uma solução indicada para países onde o isolamento térmico é uma necessidade. Para Weimer (2005) as paredes também são muito vulneráveis à umidade, razão pela qual, no Brasil muitas construções possuem largos beirais e são azulejadas.

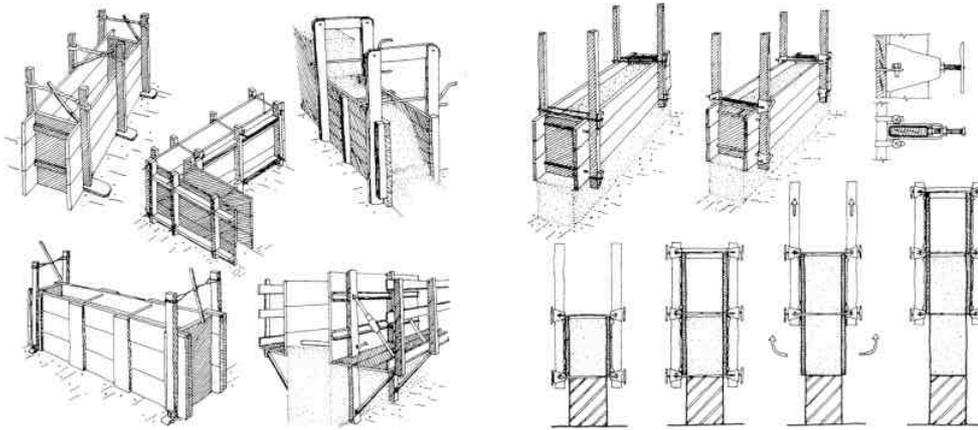


Figura 26: Formas para taipa de pilão e sistemas de formas ascendentes

2.4.3.4. Taipas de Mão e suas variações

Quando a técnica construtiva implica em uma construção de uma estrutura em madeira em geral feita de galhos finos e retos cujas frestas remanescentes são vedadas em barro, é necessário que o barro seja antes molhado e amassado com as mãos, sola dos pés ou patas de animais. Adquirindo a consistência ideal, o barro pode ser pressionado com as mãos ou outros instrumentos entre as frestas das paredes, fazendo a sua vedação. Esta é a definição de taipa de mão, que é um tipo de construção em barro “armado” (CRATerre, 1991) ou um “entramado revestido com barro plástico” (Minke, 2001), técnica encontrada nos climas tropicais, subtropicais e temperados de diferentes partes do mundo, sendo provavelmente mais antiga que as técnicas de taipa de pilão e adobes.

No Brasil esta técnica é muito estigmatizada, pois as frestas das construções de taipa servem de abrigos para inúmeros insetos, entre eles o “barbeiro”; estas construções acabaram sendo diretamente associadas à Doença de Chagas. É comum no Brasil rural, por este motivo, a implantação de programas voltados para a “erradicação das casas de taipa”, promovendo a substituição por casas de alvenaria convencional, o que é visto pela opinião pública como um avanço. Ao invés de valorizar as construções de taipa como exemplo de técnica que prioriza o meio-ambiente e as tradições culturais do povo, e investir em melhorar o seu revestimento com o próprio barro ou outros materiais para que não restem frestas e por conseguinte não sirva de alojamento para o inseto barbeiro; as

administrações públicas preferem promover a “caça as bruxas” definindo como ideais os meios industrializados. Rocha (apud Alexandria, 2006) demonstra que a doença de Chagas está muito mais ligada a questões de sub-moradia, às construções mal executadas e à falta de saneamento básico nas áreas rurais do que ao fato das casas serem construídas em taipa pura e simplesmente.

Segundo Alexandria (2006) a taipa não é considerada como mais uma técnica de construção com terra, mas sim uma técnica mista, já que a madeira, com função estrutural tem importância equivalente à terra, que tem função de vedação. No Brasil, as diferenças entre os diversos tipos de taipa se referem apenas à forma como são executados, e não à forma final. Seguindo a definição de Weimer (2005) enquanto a taipa de mão refere-se às construções de pau-a-pique, a taipa de sebe refere-se a um requadro formado pelo entramado de galhos ou bambus. Em ambas, o método de vedação consiste em aplicar o barro em estado plástico com as mãos, dos dois lados do entramado, de forma a fechar-lhe as frestas, que é descrito da seguinte forma por Alexandria (2006): “O processo de barreamento, ou enchimento do entramado é feito com as mãos, jogando o barro ao mesmo tempo dos dois lados da estrutura da madeira, sopapando-o, daí a denominação de taipa de sopapo”. Para Weimer (2005) a diferença da taipa de sopapo para a taipa de mão, é que na segunda o barro é amassado com as mãos entre as frestas, enquanto que na primeira o barro é literalmente arremessado em bolas sobre a parede do entramado:

A aplicação requer maior destreza e uma sincronia perfeita dos arremessos. Para que estes se processem ao mesmo tempo, normalmente os taapeiros e seus auxiliares cantam uma cantiga ritmada...Isto significa que todos os participantes precisam estar sincronizados com o ritmo para que o barreamento se processe de forma continuada e ininterrupta (Weimer, 2005)

Como o barro precisa ser umedecido para melhor trabalhabilidade, é natural o aparecimento de fissuras, que normalmente são reduzidas através do uso de palha de fibras longas (capim, arroz, trigo) ou fibras animais como a lã de carneiro ou crina de cavalo.



Figura 27: Construção em taipa em Teresina - Piauí