

2. O Homem Construtor

Construir sistemática e solidamente, para fazer frente aos poderes da Natureza, tem sido uma preocupação permanente das civilizações que compõe a Humanidade, desde o momento em que ésta abandonou a relativa proteção das cavernas e se aventurou pelas planícies do mundo afora. Depois de deixarem de ser povos coletores e caçadores os seres humanos passaram a se estabelecer em comunidades fixas. Isto foi há uns 8.000 anos atrás ,e, desde então os homens fizeram a técnica da construção evoluir, das pedras simplesmente empilhadas e pontes toscas de troncos e cordas à arranha céus de aço e vidro e gigantescas pontes pênseis, que desafiam, de uma maneira inacreditável, as leis da Natureza. **É a história dos três porquinhos tornada realidade!**

A história aqui é a da combinação, progressiva de argamassa, pedra, madeira e ferro com matemática avançada, máquinas cada vez mais eficientes e materiais desenvolvidos em laboratório, para se chegar às formas atuais que invadem os espaços como esculturas abstratas levando a relação **design/engenharia/construção** a traçar uma linha de fronteira, muito tênue entre o útil e o belo!

À medida que a construção avança os materiais têm que ser aplicados no lugar certo e na hora certa, não só pela sua eficiência e desempenho, mas também pela capacidade de manter a estabilidade e o equilíbrio da obra toda.

Em um trabalho de equipe, cuidadosamente especificado e coreografado pelos designers e engenheiros construtores, as forças atuantes na estrutura são equalizadas e passadas adiante para os apoios, como, por exemplo, em uma ponte de pedra onde o peso da parte superior é descarregado nas fundações por uma série de arcos que, estabilizados entre si, dividem o todo em cargas menores iguais e paralelas até a base.

Os construtores das pirâmides dominavam as técnicas do manejo das pedreiras, da cantaria e da mecânica de mover, içar e colocar enormes blocos de pedra, precisamente, nos seus lugares de pouso na obra.

Os construtores-arquitetos gregos e romanos eram pessoas de status social elevado, determinado pela sociedade que esperava deles o correto planejamento das cidades, com suas casas e templos, a colocação eficiente de aquedutos e canais de irrigação, além do design (projeto) e realização de estradas, portos, pontes e fortificações. Na Ásia os construtores eram funcionários públicos ao passo que na Europa eles eram egressos das fileiras militares ou dos ambientes eclesiásticos.

Assim foi com a construção de fortalezas, castelos e catedrais ao longo de toda a Idade Média. As técnicas de construir, com pedra, argamassa e madeira persistiram até meados de 1700, quando grandes avanços científicos e a expansão, cada vez mais acelerada dos núcleos urbanos, bem como as necessidades de instalações fabrís e comerciais, fizeram os construtores desenvolver novas técnicas e novos materiais de construção. O que era feito com pedra, argamassa e madeira passou a ser feito com ferro, aço e vidro. Os novos métodos de empregar os novos materiais permitiram erguer estruturas, de tamanhos e complexidades inimagináveis até então!

Uma engenharia de construção bem sucedida requer, até hoje, fundações fortes e estruturas capazes de serem moduladas e resistentes aos ventos, acomodações de terreno e, eventuais terremotos. A resiliência do prédio, neste caso é obtida, usando-se elementos estruturais relativamente pequenos conectados entre si. O Palácio de Cristal projetado e construído pelo jardineiro inglês, Joseph Paxton, para a Grande Exposição de 1851, em Londres, foi uma antecipação profética do moderno design das construções ainda por nascer. Suas peças em madeira, metal e vidro eram pré-fabricadas e cortadas em tamanhos padrão, permitindo uma montagem rápida e flexível, graças ainda à um possível intercâmbio de peças e componentes. Resultou daí um invólucro leve, forte e transparente, que pode ser apreciado até hoje em todo o seu esplendor. (Verschleisser, 1988, p.6)

A clareza do design facilita a identificação e pode criar símbolos internacionais como a Torre Eiffel, a ponte Golden Gate ou o prédio do museu do MAC, em Niterói. O fato de estas estruturas serem, muitas vezes, bonitas tem origem nas configurações, irredutivelmente simples (despojadas) geradas pela atração inerente que as bases matemáticas, elegantes, imprimem nas suas formas lógicas.

"...processo do design, o processo de inventar coisas físicas que mostram uma nova ordem física, organização, forma, para responder à função".
(Christopher Alexander, in Engeneering Design and Graphics, 1973, p.170)

Este extenso e fascinante caminho que começou há uns 8.000 anos a.C. deixou, ao longo da trilha, construções espetaculares que acho oportuno aqui esmiuçar mais completamente, descrevendo os seus processos de realização. Note-se que, à medida que elas vão ficando mais próximas dos nossos dias elas vão se tornando mais leves e também mais confiantes no emprego de elementos de tração em vez de, e quase que somente, nos elementos de compressão como vinha sendo feito desde a **noite dos tempos**.

Os exemplos mostrados foram descritos aqui em ordem, mais ou menos cronológica, acompanhando a evolução das técnicas de construir. O critério de escolha foi puramente em função dos progressos científicos e tecnológicos ao longo deste período de 8.000 anos. Não houve nenhuma preocupação em privilegiar obras do Ocidente em detrimento das obras do Oriente. Nos momentos oportunos as obras orientais, contemporâneas das ocidentais citadas, serão mencionadas e explicadas.

"Uma civilização é limitada ou desenvolvida pelos materiais de que dispõe".
(Sir George Paget Thomson in Engeneering Design and Graphics, 1973, p.292).

A idéia deste capítulo é traçar uma linha central genérica na História da Construção, sem entrar em outras questões que não as técnicas básicas. Os assuntos contemporâneos das civilizações aqui abordadas como: organizações sociais, religiões, hábitos e sistemas de governo, ficam para um trabalho específico e de maior fôlego a ser elaborado no futuro.

O interesse principal é que, em relatando a Historia da Construção feita pelo homem, o leitor possa ser conduzido em direção ao tema central deste trabalho, que é um sistema de construção, desenvolvido há pouco mais de cinquenta anos, empregando a **técnica recentemente desenvolvida das estruturas tensegrity**, onde a **tensão** é mais dominante e fluida do que a **compressão**.

Em todas as estruturas as forças atuantes são sempre as mesmas: **Compressão, Tensão, Torção, Cisalhamento e Flexão**.

Para melhor entender o desempenho de qualquer estrutura e ou forma conseqüente desta estrutura vamos examinar melhor cada uma das forças acima, a saber:

Compressão é a força mais simples e básica. A Compressão é a expressão direta da **Gravidade** puxando todo e qualquer objeto para o centro da Terra. É por meio da compressão que as águas fluem sempre para os lugares mais baixos disponíveis e que o próprio solo se movimenta agarrado à crosta do Planeta. A Gravidade mantém firmemente em pé, pela compressão, a maioria das estruturas feitas pelo homem.

Assim trabalham os pilares, paredes, postes e colunas que mantêm os membros horizontais de edifícios, pontes, etc. afastadas do solo. A Compressão também acontece quando se introduz um prego na madeira ou uma cavilha num orifício.

De todas as forças a Compressão é a mais fácil de ser entendida. As formas naturais e arquitetônicas que se destinam à compressão são, em geral, grossas e curtas; como a perna de um elefante ou uma coluna de mármore.

As forças de **Tensão** são exatamente o oposto das de **Compressão**. **Onde estiver uma terá que existir a outra**. As estruturas tensionadas são delgadas, leves, e muitas vezes, compridas e lineares. Exemplo disto são teias de aranhas, veleiros, guarda-chuvas, pontes suspensas, rodas de bicicletas, etc. Muitos materiais como arames, cabos e fios podem ser empregados somente em cargas de Tensão.

Os raios da roda de uma bicicleta estão em **Tensão** puxando o aro para o centro. O aro, por sua vez está em **Compressão**. A roda da bicicleta é um excelente exemplo de **estrutura auto-portante, tenso-comprimida**.

Uma teia de aranha é toda ela tensionada mas depende de ancoragens em elementos estruturais do seu entorno para a compressão, o que elimina a condição de auto-portante.

Um guarda-chuva aberto é o oposto da roda de bicicleta. As varetas comprimem o tecido para fora que por sua vez tensiona para dentro mantendo o equilíbrio da estrutura.

Um pára-quedas ou um balão são também tenso-comprimidos **mas sem elementos compressivos sólidos, que neste momento são substituídos pelo ar ou pelo gás atuando contra o tecido tensionado**.

2.1. Newgrange, na Irlanda

"Esta obra maravilhosa e imortal foi construída há 5.000 anos: antes de Stonehenge, na Inglaterra ou das Pirâmides no Egito. Cada pessoa do mundo deveria visitá-la porque ela nos conta quão surpreendentes eram os ancestrais dos homens". (Delaney, 2006 p.15)



Figura 1: Vista aérea de Newgrange (Newgrange and Knowth, knowth.com)

Com estas palavras o escritor irlandês, Frank Delaney (2006), relata, por intermédio do seu personagem: "o Contador de Histórias", o projeto e construção do templo de Newgrange, erigido numa montanha sobre o rio Boyne, no condado de Meath a 30 milhas ao noroeste de Dublin.

Este é, possivelmente, o registro mais antigo de uma construção, no sentido atual do termo, **feita deliberadamente pelo homem**. O templo foi construído com grandes pedras longilíneas, que foram arrastadas, possivelmente, sobre trilhos de madeira ou cascalho. Estes primeiros irlandeses¹, empregando argamassa, sangue de novilho e crina de cavalo construíram um templo-passageiro com 10 metros de altura, no seu ponto mais

1 Os primeiros povos que ocuparam o território da Irlanda, eram caçadores-coletores vieram possivelmente por volta do ano 6.000 antes de Cristo. Eles chegaram pelo norte, atravessando o pequeno braço de mar que separa a Irlanda da Inglaterra. A colonização mesmo começou com os agricultores neolíticos. Objetos remanescentes deste período tais como habitações, ferramentas e cerâmica têm sido descobertos em Lough Gur, no condado de Limerick. Os colonizadores neolíticos eram, em geral, auto-suficientes mas realizavam escambos, principalmente com machados de pedra, cuja técnica dominavam muito bem, com navegadores aventureiros vikings ou ingleses que apareciam, eventualmente, nas suas praias.
(Delaney, 2006, p.17)

alto, que até hoje provoca espanto e perguntas. Como foi possível construir aquilo no meio de uma encosta de morro, um lugar de difícil acesso sem empregar nenhuma ferramenta além de toscas alavancas de madeira? Como estes megalitos atravessaram o rio Boyne para chegarem ao local da obra? E, como foram içados² até lá?

Infelizmente não sobreviveram registros sobre a construção de New Grange, mas, podemos encontrar algumas respostas na história da construção de Stonehenge, na Inglaterra.

2.2. No Império Inca

Do outro lado do Atlântico, os conquistadores espanhóis ao encontrarem a enorme fortaleza de Sacsahuaman dominando a cidade inca de Cuzco, se recusaram a aceitar que aquilo tinha sido obra de seres humanos normais e concluíram que os blocos, alguns pesando quase 100 toneladas, perfeitamente ajustados e encaixados, só poderiam ser obra de magia negra, do demônio em pessoa ou do domínio, por parte dos incas, de poderes sobrenaturais.

Para realizar o trabalho, Pachacuti, o imperador inca de então (circa 1423), comandou, segundo os arqueólogos peruanos, de 20.000 a 30.000 trabalhadores do seu império. Na construção, que levou 60 anos para ser concluída, os operários foram divididos em: trabalhadores de cantaria, carregadores e ajustadores/construtores.

² Muitos dos grandes monumentos erguidos por sociedades antigas ainda eludem a nossa compreensão. Como foram transportados e erguidos os sarcenos, megalitos, de 50 toneladas cada um, para a construção de Stonehenge? (The Builders, 1992, p.204)

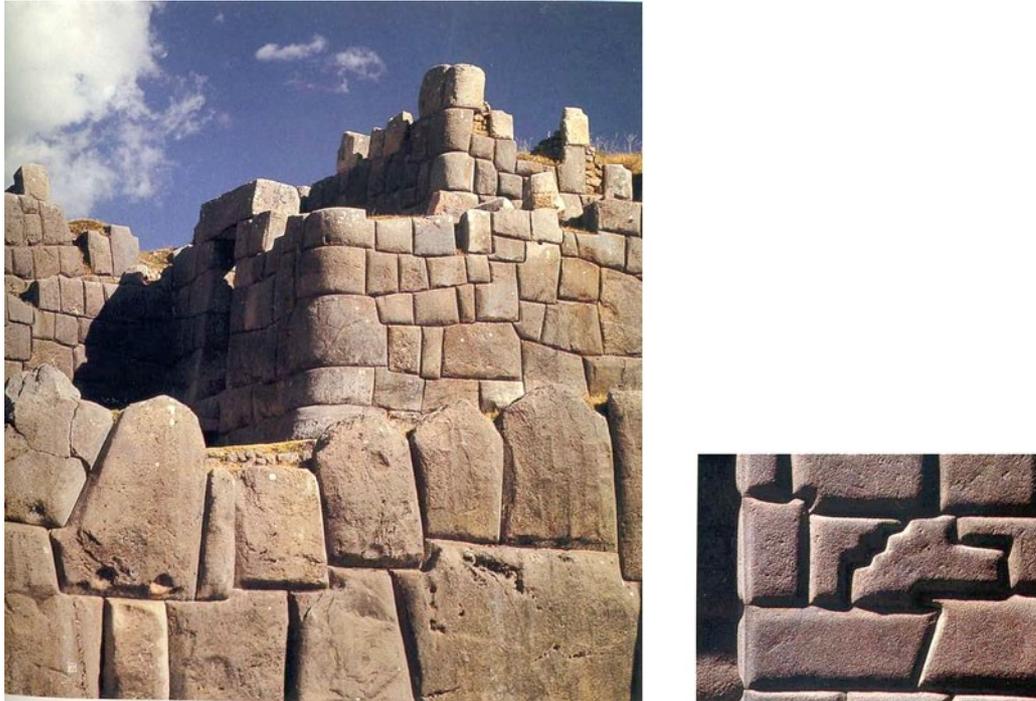


Figura 2: Muralha de uma fortaleza Inca e detalhe (foto J.C. Carton/ BRUCE COLEMAN INC.)

Os construtores incas não mediam esforços. Sem conhecer a roda, eles arrastavam as pedras em bruto—supostamente sobre um leito de cascalho de seixos rolados depois, esculpam-nas minuciosamente, usando apenas pedras de mão como ferramentas de percussão. Os operários incas davam formas abauladas às arestas das pedras e, por exaustivos testes de ajuste, encaixavam uma pedra na outra como num gigantesco quebra-cabeças. De tal forma eram elas ajustadas que, em nenhum ponto da muralha resultante, que alcançava vinte metros de altura, poder-se-ia introduzir a lâmina de um canivete entre dois blocos conectados.

Para fazer as montagens das pedras trabalhadas, os operários usavam apenas alavancas de madeira e nenhuma argamassa, que eles aliás, desconheciam. Alguns arqueólogos peruanos pensam até que o que movia os trabalhadores a construir desta maneira tão difícil tinha uma finalidade religiosa, de exercer uma espécie de bravado para o seu povo e para si mesmos.

"O trabalho em Sacsahuaman, construído com enormes blocos de pedra sem uso de nenhuma argamassa, atestava a alta qualidade das construções incas que fizeram alguns europeus acreditarem que eles sabiam como amolecer ou mesmo derreter pedra." (The Builders, 1992, p.189)

2.3. Stonehenge na Inglaterra

"Dê-me uma alavanca bastante grande e um fulcro bastante resistente e eu moverei o Mundo"(Arquimedes 220 a.C.)

Stonehenge é uma gigantesca construção circular cujas ruínas podem ser visitadas até hoje na planície de Salisbury ao sul da Inglaterra. Ela é tida pelos arqueólogos europeus, como mais antiga que as pirâmides do Egito.

Newgrange e Stonehenge são, com certeza, as primeiras **intenções arquitetônicas deliberadas** realizadas no Ocidente

Stonehenge, é conhecida como "o lugar das pedras suspensas". Este nome, cunhado durante a época medieval, se refere a uma estrutura que é única, sem igual no mundo, apresentando megalitos à prumo encimados por lintéis, perfeitamente encaixados sobre seus topos.

O templo/observatório de Stonehenge, além da sua forma circular, apresentava, como característica mais marcante, suas enormes pedras lavradas chamadas de Sarcenos (por causa do tipo de pedra do qual eles são constituídos) colocados em posição vertical, lado a lado, deixando espaços através dos quais se podia observar o Sol e a Lua, principalmente nos Solstícios e Equinócios.

Na Inglaterra existem mais de 600 grandes círculos feitos em pedra, mas nenhum deles construído com tanto esmero e precisão como foi Stonehenge.



Figura 3: Vista geral do sítio arqueológico de Stonehenge (foto Lawrence Migdale / PHOTO RESEARCHERS INC.)

A maioria dos estudiosos, hoje, concordam em afirmar que Stonehenge foi um templo destinado à cura dos indivíduos e, como tal, é o mais famoso templo da Europa. No entanto, não temos nenhuma informação sobre os deuses que eram adorados nem das cerimônias que lá se realizavam, uma vez que, quando os romanos chegaram à Inglaterra, este templo já existia há, pelo menos 1.500 anos e tinha passado por várias reformas e ampliações³.

Muitos arqueólogos sugerem que o templo, em forma de círculo, era dedicado ao Sol porque a partir do seu segundo período de reforma (2.100 a.C.) a Grande Avenida, que corre sobre a linha diametral, leste-oeste, do círculo, aponta diretamente para o nascer do Sol que acontece por trás da Pedra do Calcanhar, no dia mais longo do ano (verão) e, na direção oposta, no dia mais curto (inverno).

As projeções horizontais (direções azimutais) do nascer e do por do Sol e da Lua nos solstícios de verão e inverno, estabelecidos hoje em dia por instrumentos científicos, altamente sofisticados, corroboram a precisão astronômica de Stonehenge.

A Pedra do Calcanhar situa-se fora do círculo de Stonehenge, no início da Grande Avenida, a uns noventa e oito metros dos Sarcenos e no ponto mais ao norte do monumento. A possível função desta Pedra era servir de ponto de mirada em relação ao nascer do Sol no meio do verão⁴.

Com base nestas leituras, feitas diretamente do templo, os sacerdotes podiam organizar os rituais dos solstícios e da passagem das estações do ano.

Um outro grupo de especialistas afirma que Stonehenge foi um observatório construído para registrar os movimentos do Sol, da Lua e fazer as previsões dos eclipses.

3 Pesquisas arqueológicas revelam que desde o início dos trabalhos de construção de Stonehenge há 5.000 anos antes de Cristo, o templo passou por três grandes reformas conhecidas hoje como Stonehenge I, II e III que foram acrescentando elementos arquitetônicos até chegar à sua configuração atual. Estas obras levaram, no total, pelo menos, 2.800 anos para serem concluídas. Daí quando se quer falar de um evento específico relativo à vida do templo deve-se mencionar em qual dos três períodos isto ocorreu. (Nota do Autor)

4 A Pedra do Calcanhar funciona da seguinte maneira: Se um observador se posicionar no Eixo Principal (Grande Avenida) do monumento e olhar, passando pela Pedra, para o horizonte, ele verá o nascer do Sol nas manhãs em torno do dia 21 de junho. À medida que o ano progride em direção ao próximo 21 de junho a posição do nascer do Sol no horizonte fica cada vez mais difícil de detectar até alguns dias antes ou depois da alvorada do meio do verão. Neste momento a posição do Sol parece fixa no céu. É o momento do Solstício (do latim: "Sol parado"). Isto significa que um observador pode registrar o espaço de tempo transcorrido entre o levantar do Sol sobre a Pedra, do início do verão até o meio deste mesmo verão. Supondo que este período é de oito dias, saberemos que, no ano seguinte o meio do verão cairá quatro dias depois de se observar o levante do Sol, diretamente acima da Pedra do Calcanhar. (Nota do Autor)

Parece-nos que Stonehenge mostra o estado da arte do conhecimento de astronomia ao tempo em que foi construído. É muito provável que este conhecimento “científico” tenha se misturado à elementos religiosos e às crenças a respeito da posição do Homem no Universo. Stonehenge é tida pelos arqueólogos europeus, como possivelmente mais antiga que as pirâmides do Egito. Estas crenças foram incorporadas no que hoje chamamos de astrologia, uma vez que, no passado, astronomia e astrologia eram interligadas e inseparáveis.

Acreditava-se que os eventos que ocorriam no Macrocosmo ou o Todo Universal estavam diretamente relacionados com o Microcosmo, a saber, o Homem que era considerado como uma representação, em miniatura, do Universo. (The Builders, 1992 p.222)

2.3.1. A construção do Templo

Na planície de Salisbury não existiam grandes blocos de pedra disponíveis para a construção que precisava de dois tipos de pedra. Os sarcenos que eram de arenito e as pedras azuis que eram granitos. A pedreira mais próxima para os **sarcenos** ficava a 30 quilômetros de distância em Marlborough Downs e as **pedras azuis** vinham de uma jazida bem mais ao leste, as Montanhas Preseli, no país de Gales. Assim sendo, estas pedras tinham que ser lavradas no local da extração e transportadas para o sítio da construção. No caso dos sarcenos foram usado trenós como deslizadores, conforme será explicado adiante, ao passo que no caso das pedras azuis o transporte era feito, primeiro em balsas de troncos, ao longo da costa sul da Inglaterra e depois por terra, da mesma maneira que os sarcenos.

Usando ferramentas de corte, feitas de chifres de veados, os construtores escavavam um grande rasgo em forma de círculo no solo calcário, para receber os megalitos. Estes eram cortados e formatados, na própria jazida, com machados de pedra, depois colocados sobre trenós de madeira e transportados de duas maneiras: no verão sobre uma trilha de cascalho e, no inverno, deslizados com relativa facilidade, sobre o solo congelado, para a respectiva trincheira na obra, num ponto da linha circular marcada. Lá chegando os grandes blocos de pedra, pesando até 50 toneladas, cada um, eram movidos, possivelmente sobre trilhos de madeira recobertos com graxa animal, uma vez que, segundo os arqueólogos e engenheiros, o emprego de roletes de madeira

seria inviável pois não agüentariam o peso das pedras. No ponto exato onde deveria ser erguido o megalito, cavava-se uma trincheira com dois metros de profundidade dentro da qual, na parede oposta à entrada da base da pedra, era cravada uma parede de troncos de madeira que servia de anteparo para o içamento definitivo até o prumo. Este era realizado por centenas de homens usando cabos trançados confeccionados em couro, presos primeiro ao terço inferior do megalito e depois, ao topo de um pórtico/alavanca, em forma de A que ficava afastado uns 20 metros do sarceno.

A propósito, foi esta a técnica usada, mais tarde pelos egípcios, para colocar em pé os seus obeliscos.

Os construtores começaram por erguer dois sarcenos, lado a lado (com um intervalo de 3 metros, entre eixos) para marcar a entrada nordeste do lugar e mais dois do lado oposto destas, a 90 metros fora do círculo referente ao espaço do templo. Os arqueólogos suspeitam que o remanescente destes blocos externos seja o bloco que compõe a Pedra do Calcanhar. Mais tarde, esta entrada foi deslocada um pouco para dar mais precisão ao eixo do Grande Círculo, que deveria estar alinhado com o levante do Sol no solstício de verão.

Por volta de 2.100 antes de Cristo, foram acrescentados mais dez sarcenos cobertos por lintéis maciços, formando uma ferradura no centro do círculo. Deste tempo em diante mais trinta sarcenos, encimados por lintéis foram colocados, formando um círculo de pedra em volta da ferradura central. Séculos depois foram acrescentadas as **pedras azuis** formando outro círculo interno e outra ferradura. Agora, para concluir a obra toda: **os Lintéis**. Para construir a conhecida estrutura de sarcenos encimadas por lintéis, o procedimento era o seguinte: no topo de cada sarceno era esculpida uma respiga (um grande "pino" de pedra) para servir de conector e estabilizador dos lintéis. Cada lintel, por sua vez, tinha em cada uma das suas faces menores, indentações tipo macho e fêmea para encaixe na respiga do respectivo sarceno. Os lintéis eram esculpidos, ligeiramente curvados para que, quando colocados formassem um círculo suspenso perfeito.

Finalmente os lintéis eram elevados por meio de grandes alavancas de carvalho e sucessivas camadas de troncos colocados por baixo deles, até atingirem a altura exata dos respectivos sarcenos. Desta posição eles eram deslizados, lateralmente, até encontrarem os respectivos encaixes estabilizadores. Depois de quase 2.000 anos de obras, e três grandes reformas, Stonehenge estava concluído!

2.4. As Pirâmides do Egito

"Enormes monumentos construídos sem o emprego de rodas ou roldanas, sugeriam intervenções extraterrenas para que os construtores unissem o céu à terra. As grandes pirâmides do Egito simbolizavam, não somente o poder do faraó, mas também uma escada celestial. Os Zigurats sumerianos, visíveis a 25 milhas de distância eram "as montanhas para o céu".(The Builders, 1992, p.204)

A morte no Egito Antigo era considerada o início de uma nova vida em um outro mundo. Esta nova vida, desde que se tomasse certas precauções, duraria para sempre. Assim sendo, como a vida na Terra era relativamente curta, os egípcios construíam suas casas com barro e os seus túmulos com pedra.

Os egípcios acreditavam que, além do corpo físico todo mundo tinha uma alma chamada **ba** e um clone espiritual chamado **ka**. Quando o corpo morria o **ba** do indivíduo continuava vivo aqui na Terra, descansando dentro do corpo à noite. O **ka** individual, no entanto, ficava viajando permanentemente entre a Terra e o Outro Mundo.

A vida eterna dependia do fato de, tanto o **ba** quanto o **ka**, reconhecerem o corpo da pessoa morta. É por esta razão que os corpos eram preservados pelo processo da mumificação. E, para preservar e proteger o corpo mumificado nada mais adequado do que um túmulo sólido e inviolável.

O túmulo no qual o corpo era colocado tinha duas funções principais. Ele era projetado para proteger o corpo dos elementos da Natureza e dos ladrões ávidos de se apoderar do ouro e as jóias do morto e, servir de moradia para o **ka**. Quanto mais importante a pessoa, maior era o túmulo. Uma vez que os faraós, ao morrerem, se tornavam deuses, os seus túmulos eram os mais elaborados de todos.

Entre 2.700 e 2.200 antes de Cristo os túmulos reais eram circundados por templos e túmulos de menor porte chamados **Mastabas** e a câmara mortuária do faraó era uma montanha de pedra, construída pelo homem e chamada **Pirâmide**.

Os quatro lados triangulares, a partir do cume, da Pirâmide se derramam sobre a terra, simulando um jorro de luz do Sol, se derramando sobre o faraó, ligando-o, diretamente, e para sempre, com **Rá**, o Deus Sol.

Uma pirâmide era composta basicamente de três partes: **1)** Um núcleo central construído com grandes paralelepípedos montados de forma a deixar grandes degraus nas quatro faces; **2)** um enchimento com pedras menores (pedras de mão) e, finalmente, **3)** o acabamento das superfícies com blocos de revestimento. Estes blocos eram talhados com cuidado e precisão em pedras de melhor qualidade e acabados com esmero. Estas três etapas eram construídas simultaneamente. (Macaulay, 1976, p.25)

As ferramentas usadas pelos trabalhadores, para cortar e polir eram confeccionadas com **cobre** ou **dolerito**, uma rocha ígnea de grande dureza. Os cabos das ferramenta de corte, bem como os instrumentos de medida como: trenas, níveis, prumos, gabaritos, régua e esquadros eram feitos, também, de madeira.

Para extrair os blocos nas jazidas os trabalhadores usavam ferramentas toscas, mas de uma maneira inteligente. Eram feitos orifícios em linha, com pequenos intervalos entre eles, usando-se ponteiros de cobre. Nestes orifícios eram marteladas cunhas de madeira que, encharcadas com água, inchavam e provocavam uma fissura ao longo da linha de furos feitos na superfície da pedra. No caso dos granitos os operários empregavam fogo para rachar os blocos que depois eram trabalhados com esferas de dolerito e polidos com uma mistura de água, quartzito e areia.

Para obter os melhores blocos de calcário possível os operários cavavam profundos túneis nas faces das montanhas, que ficavam relativamente perto das obras. Cada bloco cortado era marcado com o nome da turma de operários que o lavrou e registrado numa lista. Depois disto o bloco era colocado sobre um trenó de madeira que, puxado por meio de cordas elaboradas com fibra vegetal, deslizava sobre roletes, também de madeira até o cais onde era embarcado para transporte até o canteiro da construção.

Antes do processo de construção propriamente dito ter início, era necessário localizar, com exatidão, o **Norte Verdadeiro**, para orientar o monumento com precisão em relação aos quatro pontos cardeais. Para este fim era construído um muro circular, localizado bem no centro do sítio da futura pirâmide, que tinha uma altura tal que escondesse todas as elevações do entorno para criar uma linha de horizonte perfeita, 360°, à sua volta.

Ao anoitecer um sacerdote se colocava no centro do círculo e, usando um bastão apoiado no solo, bem no centro geométrico do círculo. Tendo uma pequena forquilha no topo, que servia como mira, plotava uma estrela no **Leste**. A posição desta estrela era marcada, assim que ela aparecia sobre o muro, e uma linha reta era traçada deste ponto até a base do bastão. O sacerdote então acompanhava o arco da trajetória da estrela até ela desaparecer atrás do muro, à **Oeste**. Este ponto também era marcado, e outra linha reta traçada até a base do bastão. Como o sacerdote tinha conhecimento que as estrelas giravam em torno do polo norte, ele sabia que, traçando a bissetriz do ângulo formado pelas duas retas riscadas no chão ele obteria, com precisão a localização do **Norte Verdadeiro**. (Mcaulay, 1976 p.22)

2.4.1. A maior de todas, Khufu

Para dar maior exatidão ao relato da construção de uma pirâmide, segundo os arqueólogos do Museu do Cairo, foi escolhida a maior de todas: Khufu, conservada até hoje, no complexo funerário de Gisé, na margem oeste do Nilo, junto com outras duas, não menos importantes que são suas sucessoras, a saber: Khafre e Menkaure.

A construção de pirâmides evoluiu muito rapidamente no período de Snefru, pai de Khufu. Neste período os egípcios já tinham aperfeiçoado a técnica de construir grandes pirâmides entrecortadas internamente por uma rede de acessos e câmaras, bem como sistemas de vedação dos mesmos. Foi nesta época também que os construtores chegaram à inclinação ideal de 51° 52' das faces, para evitar desabamentos durante a construção. É ainda importante mencionar que durante este período as dimensões destes monumentos aumentaram exponencialmente. A área ocupada pela base era de 62.000 metros quadrados e a altura chegou a cifra astronômica de 158 metros, dos quais já se perderam 10 metros. Para a construção propriamente dita foram empregados 2,3 milhões de blocos de pedra pesando, em média, 2,5 toneladas cada um! E,

note-se que nestes valores não estão computados os blocos usados para a construção do cais de recepção das peças no Nilo, outra obra que por si só já é uma realização espantosa!⁵

A obra começava pelo aplainamento e nivelamento do terreno. Para isto usava-se um expediente muito simples: Era cavada, no solo rochoso, uma rede de canais que tinha com limites o perímetro exato da base da futura pirâmide. Os canais eram então enchidos com água que, uma vez parada, deixava marcado o seu nível nas paredes das trincheiras. Depois disto os canais eram preenchidos com pedras até a altura marcada pela água, resultando numa rede de muros, perfeitamente nivelados, que marcavam ainda, com precisão os limites do sítio da construção.

Bem no centro do terreno, foi feita uma escavação com 15 pés (cinco metros) de profundidade, para situar a câmara funerária do faraó e a câmara dos seus pertences. A partir destes dois ambientes era cavado um túnel até a parte externa da base. Tanto as câmaras como os túneis eram, forrados e encimados por lâminas de granito. O granito vinha de muito longe, 600 milhas ao sul de Aswan, trazido em barcos pelo Nilo.

Para a montagem dos blocos, tanto de calcário como de granito, tinham suas superfícies melhor acabadas com cinzéis de cobre e numeradas na ordem em que seriam montadas na obra.

Uma vez feito um assoalho de lâminas de calcário, perfeitamente aplainadas e ajustadas, sobre todo o sítio, os blocos eram arrastados sobre trenós de madeira até o ponto exato das suas respectivas locações. Para fixá-los os operários passavam uma camada de argamassa na base e nas laterais antes de tirá-los do trenós. Os blocos da base eram assentados ao longo do perímetro tomando por base linhas gravadas precisamente sobre o assoalho de lâminas de calcário.

Deste ponto em diante, passavam-se a construir rampas, ladeando em espiral, as quatro faces da pirâmide. Estas rampas eram ancoradas na superfície extremamente rugosa das faces e forradas com roletes de madeira para facilitar o arrasto ascendente dos trenós portadores dos blocos. Estas rampas eram "lubrificadas" permanentemente com lama e água e os blocos só eram descarregados no seus locais de pouso depois de receberem na base e nas

5 De acordo com o historiador grego Herodoto, o preparo do plateau de calcário na planície de Gisé levou 10 anos e a construção da pirâmide, em si, demorou 20 anos para ser concluída. Segundo ainda Herodoto, o cais e respectivo pier de desembarque das pedras somavam 800 jardas (aproximadamente 75 metros) de comprimento total e foram construídos com pedras polidas, sobretudo nas superfícies de arrasto dos blocos, com capacidade para receber pedras de até 50 toneladas. (The Builders, 1992, p.212)

laterais generosas camadas de argamassa. A construção prosseguia deitando camada por camada de blocos de pedra, sempre organizados do centro para fora, e observando um recuo por "andar" (camada) que permitisse obter a inclinação de $51^{\circ} 52'$ nas faces da pirâmide.

Quando se alcançava quase o topo, não dava mais espaço para quatro rampas (uma em cada face), assim é que daí em diante eram só duas rampas com os fluxos organizados em: mão e contramão. Finalmente subia a pedra de cumeeira (**cap stone**) que era feita em um bloco de pedra maciça reproduzindo toda a pirâmide abaixo dele. (Macaulay, 1976 p.55)

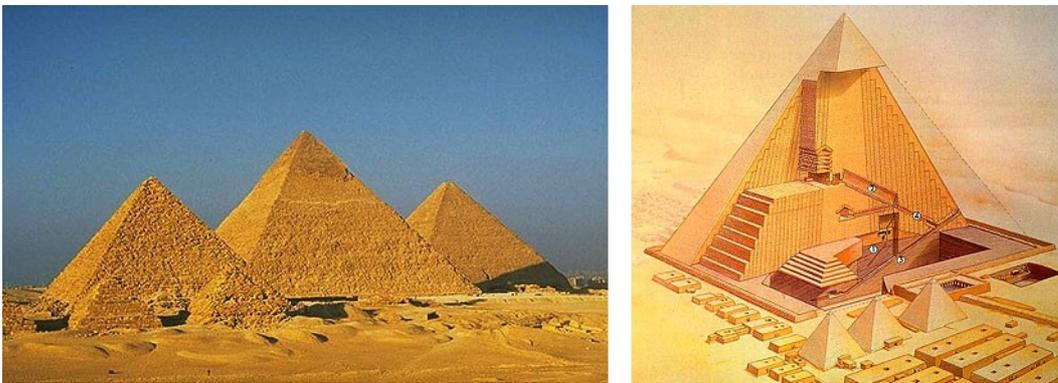


Figura 4: Fotos da pirâmide pronta e respectivo corte. (foto John G. Ross, ilustração Gerald Eveno)

2.5. A Construção de uma Cidade

No momento em que começam a surgir as grandes cidades com seus grandes aglomerados humanos e seus grandes problemas, a técnica da construção, por pura necessidade, vai se tornando, cada vez mais complexa e sofisticada, demandando dos construtores, cada vez mais saberes e especializações.

Este título será um dos mais longos deste trabalho, mas o detalhamento da construção de uma cidade descrito aqui valerá aproximadamente, por todos os outros que ainda serão mencionadas mas não tão detalhadas, pois a maioria dos procedimentos já terá sido informado aqui.

Para descrever detalhadamente a fundação e construção de uma cidade romana criei a cidade imaginária de **Saturnia**. **Saturnia**, embora fictícia, foi construída com o emprego das técnicas reais mais avançadas que se tinha notícia na segunda metade do último milênio antes do nascimento de Cristo. É um exemplo universal clássico de como foram erguidas as centenas e, se considerarmos o Oriente, milhares de cidades que se tornaram as sementes das megalópoles de hoje. Vamos descobrir que, por volta do ano 400 a.C., a tecnologia de construção e o conhecimento dos arquitetos e engenheiros eram muito avançadas, embora as obras fossem baseadas integralmente na **compressão**, havendo pouquíssima aplicação da **tensão** como força construtora e estabilizadora dos prédios.

Sabemos que existem registros de aglomerados urbanos que datam de até 8.000 anos antes de Cristo. Mohenjo-Daro, sítio arqueológico existente no Paquistão é um destes aglomerados que abriga os restos de uma cidade proto-histórica considerada das mais importantes da civilização do Indo. Porém são registros muito pobres em informações concretas e, a julgar pelas ruínas, se revelam cidades muito menores e menos sofisticadas do que Saturnia.

2.5.1.

Saturnia, uma típica cidade do Império Romano

Durante séculos o trigo e as uvas do norte da Itália, plantados no fértil vale do rio Pó, eram coletadas em pequenas vilas e transportadas de barco até o grande mercado de Roma. Mas, estas vilas eram frequentemente assoladas por enchentes que tudo destruíam. Foi então que o imperador Vinícius Máximus (vamos chamá-lo assim), resolveu tomar providências para ajudar aquela região tão importante para o abastecimento da capital. Foram despachados especialistas como: engenheiros militares, planejadores urbanos, arquitetos, topógrafos e técnicos em construção para avaliar a situação da área e propor a implantação de uma nova cidade a partir do terreno bruto.

Os topógrafos escolheram um terreno plano, mas situado num nível bem mais alto que o nível do rio, primeiro para evitar novas enchentes depois para garantir uma boa drenagem das águas. Assim que um sacerdote romano, enviado especialmente, fez as suas rezas e sacrifícios de, pequenos animais da região, concluiu que o lugar era bom, saudável e livre de encantamentos negativos, os deuses foram agradecidos e a obra começou.

Foi então estabelecido o **castrum**, acampamento militar composto pelos soldados e escravos que os acompanhavam, para realizar os trabalhos. O castrum foi cercado por uma paliçada de proteção feita com toras de madeira e, as duas futuras grandes avenidas principais, uma no sentido **norte-sul** outra **leste-oeste**, foram demarcadas. O encontro destas duas avenidas marcava a localização do futuro **forum**, local onde os soldados eram reunidos todos os dias para receber informações e ordens.

Com o passar dos meses as tendas de pano do castrum foram substituídas por construções feitas com materiais mais permanentes e resistentes às intempéries.

Foi montada uma ponte composta por pranchões apoiados sobre balsas ancoradas lado a lado em toda a extensão da largura do rio, para estabelecer comunicação entre as margens do Pó além de servir de base para a construção da futura ponte definitiva.

Uma vez pronto o Plano Mestre para Saturnia, estabeleceu-se o **castrum** como centro da cidade e centro das operações de construção. A avenida norte-sul passou a se chamar **cardo** e a leste-oeste **decumanus**. Toda a área de 5000 por 5000 metros foi recortada como um tabuleiro de xadrez, em quarteirões chamados **insulae**, que tinham, em média 500 metros quadradas de área.

O muro da cidade foi projetado de modo a apresentar quatro aberturas. Estes portões seriam situados nos pontos onde as avenidas norte-sul ou leste-oeste, respectivamente, atravessam o muro e saem para o campo.

Em volta de toda a cidade, mas encostada por dentro do muro, foi deixada uma faixa de terra com 10 metros de largura chamada **pomerium** que representava a fronteira sagrada pela qual a cidade seria protegida pelos deuses.

A área inicialmente reservada para o **forum** foi ampliada para abrigar centralmente as instalações governamentais e religiosas. Foram localizadas as fontes de água, traçado o aqueduto, o mercado central, os banhos e sanitários públicos, bem como o Centro de Entretenimento composto pelo anfiteatro (arena) e o teatro, além dos espaços para os prédios comerciais e residenciais. Foi estabelecido que nenhuma edificação poderia ter de altura o dobro da largura da rua em que estivesse situada. O propósito desta determinação era permitir uma boa insolação da rua. Os proprietários de imóveis que tivessem fachadas voltadas para a rua eram obrigados a instalar toldos nas respectivas fachadas para conforto dos pedestres.

As insulas deixadas deliberadamente vazias dariam aos proprietários maior liberdade de localizar e construir suas casas, desde que fossem respeitadas vias de acesso para todos e ruas de serviços.

Os materiais de construção básicos usados para erguer Saturnia eram : pedra (calcária e granito), argila, argamassa e madeira.

A pedra vinha de jazidas do governo. Lá existiam forjas para fabricação e reparo das ferramentas como cunhas, alavancas, serras, talhadeiras e marretas. Além da forja, existia uma carpintaria para fabricação e manutenção dos guindastes de tração humana, andaimes e gabaritos para arcos e abóbadas.

Os operários especializados cortavam, poliam e faziam as marcações nos blocos. Os operários não especializados separavam os blocos, e de acordo com o tamanho dos mesmos: carregavam, arrastavam em trenós ou em carroções de madeira, até o local de pouso dos mesmos.

O corte da pedra era feito por intermédio de grandes serras de metal, mas quando a dureza da pedra era muito grande, o corte era feito por serrotes sem dentes e uma mistura de areia e limalha de ferro, despejada continuamente, no sulco onde acontecia o vai e vem da serra.

Quando a pedra não podia ser cortada pelos expedientes acima descritos o procedimento era o seguinte: furava-se uma fileira de orifícios dentro dos quais se introduzia, à marretadas, cunhas de madeira. Sobre estas cunhas era vertida muita água até que o inchaço das madeiras encharcadas provocava uma fenda na pedra, precisamente na direção dos orifícios. Depois disto, com cunhas de ferro e marretas separavam-se os blocos da jazida. Processo semelhante foi descrito no item Pirâmides.

Os tijolos e telhas eram confeccionados com barro moldado em formas e depois cozido em fornos a lenha para endurecer. Todas as peças eram marcadas com o nome do fabricante e do Imperador.

A argamassa usada para cimentar tijolos e blocos de pedra era uma mistura de areia, cal (obtida pela calcinação do calcário) e água. Nos casos em que se queria dureza absoluta da argamassa acrescentava-se rocha vulcânica moída. Quando a obra era debaixo da água adicionava-se ainda à argamassa uma substância em forma de cascalho chamada **pozzolana**, que fazia com que a argamassa se tornasse extremamente dura e impermeável. (Macaulay, 1976 p.28)

2.5.1.1.

A construção do muro da cidade

Um arado puxado por um touro branco e conduzido por um sacerdote, foi usado para cortar uma trincheira ao longo de todo o perímetro da cidade, só interrompendo a sua faina nos locais reservados para os futuros portões. Esta trincheira marcava o local onde seria erguido o Muro de Proteção da Cidade de Saturnia.

Após a cerimonia da marcação do local de implantação do muro, topógrafos usando um aparelho chamado **groma**⁶ passavam a determinar o traçado de todas as ruas que se interceptariam ortogonalmente em toda a área da cidade.

Duas grandes valas foram cavadas paralelamente à trincheira marcada pelo sacerdote e um talude construído entre elas. O muro foi planejado de modo a que se construíssem duas grandes paredes, uma de cada lado do talude. A parede externa penetrava 30 pés abaixo do nível do solo para evitar invasões por túneis cavados, sob o muro.

O muro externo apresentava ainda indentações (ameias) na sua parte superior para que os soldados pudessem atirar, protegidos, sobre o inimigo. O muro construído na parte interna do talude era muito mais alto do que o primeiro para evitar que lançamentos de flechas incendiárias ou pedras catapultadas, atingissem a cidade. Guindastes montados sobre os taludes permitiam baixar os grandes blocos de pedra que eram empilhados, alinhados, colados com argamassa e travados, definitivamente, por meio de grampos de bronze, selados com chumbo derretido vertido sobre eles.

Cada abertura de portão era selada por meio de pesadas portas de madeira que funcionavam como cortinas, baixadas e levantadas, por mecanismos movidos por força humana providos de alavancas e roldanas para facilitar o trabalho.

6 "O groma era um aparelho constituído por uma cruz de ferro apoiada sobre um bastão com 4 pés de altura que ficava, por sua vez, apoiado no solo. De cada uma das extremidades da cruz de ferro pendiam fios de prumo (num total de quatro). No momento em que os quatro fios estivessem paralelos entre si e com o bastão central a cruz estaria rigorosamente na posição horizontal. Dai, fazendo visadas ao longo das hastes da cruz, o topógrafo podia determinar a direção e conseqüentemente o traçado de cada rua. Este mesmo processo era usado para marcar estradas e terrenos para sítios extramuros." (Macaulay, 1978 p.16)

2.5.1.2. Estradas de acesso

As estradas de acesso, bem como a ponte para cruzar o rio, foram construídas antes da cidade propriamente dita.

Soldados, escravos e prisioneiros forneciam os músculos necessários à construção de uma estrada romana.

Primeiramente o terreno era varrido e as trincheiras, para engaste das pedras de meio-fio e o sistema de drenagem, eram cavados usando-se estacas de madeira como referência, de cada lado do que seria a largura da futura estrada. O espaço entre meios-fios era então escavado por meio de uma vala profunda que era enchida e pilada com brita de vários tamanhos, as maiores na camada inferior e daí em granulações cada vez menores até o topo. A camada superior era ligeiramente curvada em direção às beiras para facilitar o escoamento da água pluvial para os drenos laterais existentes, encostados nas pedras de meio-fio. A pavimentação era feita com pedras laminadas, cuidadosamente encaixadas entre si. Quaisquer espaços vazios eram preenchidos com brita e pequenas peças de ferro.

As estradas em terrenos pantanosos eram construídas sobre estrados de toras de madeira apoiados em um sistema de estacas cravadas no fundo do pântano. O comprimento destas estacas variava de acordo com as profundidades encontradas, mas era sempre resolvido de modo a manter o estrado a seco. Sobre o estrado de madeira era depositada uma camada de lâminas de calcário perfeitamente encaixadas e cimentadas entre si com argila.

Por cima destas lâminas era colocada e, em seguida pilada, com maças de madeira, uma grossa camada de cascalho e seixos rolados, ligados com argamassa. Esta camada superior é abaulada do eixo longitudinal central para as bordas com a finalidade de facilitar a drenagem das águas pluviais.

Por estas estradas trafegavam pesadas carroças que percorriam até 75 milhas por dia e os correios a cavalo que eram capazes de fazer 150 milhas em 24 horas, parando, de tempos em tempos, em postos remotos, para comer e trocar de cavalos.

A implantação da rede de estradas romanas começou a ser feita, a pleno vapor, após o ano 312 a. C. quando o Senado aprovou a construção de uma via expressa, com 132 milhas de extensão que ia do sul de Roma até Capua. A famosa via Appia, batizada em homenagem ao seu construtor Appius Claudius. (Macaulay, 1976 p.26)

Com a expansão do Império romano, durante os próximos seis séculos, a via Appia se tornaria parte de um sistema de 50.000 milhas de estradas ligando Roma aos seus postos mais remotos, na Europa, no Oriente Médio e na África⁷.

Com o colapso do império romano, por volta do ano 500 a.D. toda esta magnífica rede também entrou em colapso porque tinha chegado ao fim a arte romana de construir estradas.

2.5.1.3. A ponte sobre o rio Pó

A ponte definitiva foi construída a partir da ponte de barcaças, poitadas no rio. A ponte deveria ser de madeira suportada por cinco pilares de pedra firmemente apoiados no leito do rio.

Foram construídas ensecadeiras nos locais onde deveriam ficar os pilares, para que os operários pudessem fazer as fundações a seco. As ensecadeiras eram feitas de toras de carvalho descascadas e cravadas lado a lado, no leito do rio. As toras eram amarradas entre si por correntes e os eventuais espaços vazios entre elas preenchidos com barro.

A forma do conjunto lembrava um barco bojudo com popa e proa alinhados com o fluxo da correnteza do rio.

Depois de prontas as ensecadeiras a água era bombeada para fora delas e o trabalho nas fundações podia começar. Os pilares eram feitos com grandes blocos de pedra, por fora e, concreto por dentro. O concreto consistia de camadas alternadas de brita e argamassa. Uma vez completos os pilares eles estavam prontos para receber a ponte propriamente. O piso da ponte era feito com pranchões de madeira apoiados sobre mãos francesas, também de madeira, que por sua vez descarregavam os esforços nas laterais do pilares.

⁷ Apesar de os romanos serem disparadamente os melhores construtores de estradas que o Mundo já viu, eles não eram de maneira nenhuma os primeiros. Os chineses e persas já construíam estradas desde o ano 500 a.C., mas a maioria era muito primitiva quando comparada aos padrões romanos.

"A falta de manutenção destas estradas inspiraram o provérbio chinês que dizia que uma estrada era boa por dez anos e péssima pelos próximos 10.000 anos".
(The Builders, 1992, p.16)

2.5.1.4. Aquadutos e Pontes/Vencendo Distâncias

No início a água de **Saturnia** vinha de vários poços profundos existentes intramuros. Mas, os planejadores sabiam que, à medida que a cidade fosse crescendo, os poços não seriam mais suficientes para o abastecimento da cidade. Tornava-se necessário construir um aqueduto para trazer água potável dos lagos das montanhas que ficavam a dezenas de milhas de distância.

O fato de trazer água de longe era parte do problema; era preciso também desenvolver uma rede eficiente de distribuição desta água pela cidade. A resposta dos técnicos da época foi tão perfeita que até o século XIX da nossa Era pouco foi acrescentado ao que os engenheiros da Babilônia, da Assíria, da Palestina, da Ásia Menor ou da Grécia tinham desenvolvido e aplicado.

Por volta do ano 1000 antes de Cristo, a água de Jerusalém era coletada em fontes, armazenada em cisternas de decantação e distribuída por meio de canais de pedra. Os Micênios e Atenienses canalizavam a água obtida em fontes longínquas e a traziam, por intermédio de canais subterrâneos, feitos de pedra ou talhados na rocha, até os muros das cidades. Em Pergamon, um aqueduto, sustentando canos de cerâmica e/ou madeira, cruzava dois vales profundos, em declive e, empregando **sifões invertidos**⁸ gerava pressão suficiente para que a água fosse bombeada morro acima para atingir o seu destino final.

Em Roma, por exemplo, a vida civilizada dos mais de 1 milhão de habitantes exigia cada vez mais água para suprir as termas, os banhos públicos, as fontes, os sistemas de esgotos e a rega dos muitos jardins da cidade.

Os engenheiros romanos desenvolveram um sistema municipal de distribuição de água, formado por adutoras e canais, tão eficiente que, até hoje, os planejadores urbanos se referem a ele como modelo de eficiência.

"Arcadas, pontes sifões, tubulações, túneis, reservatórios, canos de distribuição e hidrômetros, formavam uma rede que, por volta do ano 97 da era atual, tinha 880 milhas de comprimento. Esta rede fornecia de 20 a 400 milhões de galões de água por dia à Cidade Imperial." (The Builders, 1992 p.44)

8 Com Aurélio aprendemos que siphon (grego) ou siphone (latim) era "um tubo para aspirar água." Horacio Macedo, no seu Dicionário de Física, explica que: " **Sifão, Mec.** é um dispositivo que aproveita a pressão atmosférica para fazer um líquido ultrapassar, sobrepassando-a, uma elevação ou uma parede. Consiste num tubo em forma de U, invertido, com um dos ramos maior do que o outro e colocados num plano vertical. Quando o tubo estiver cheio com o líquido e a extremidade mais alta imersa neste líquido, a diferença de pressão hidrostática entre as duas extremidades força o líquido a ascender, no ramo menor e, descer no ramo maior. O fluxo transfere, portanto, o líquido, elevando-o na parte curva do sifão. O dispositivo é utilizado nos laboratórios e também em escala industrial, além de fazer parte de sistemas de tubulações adutoras de água. " (Macedo, 1976 p.320)

2.5.1.4.1.

A Construção de um aqueduto para Saturnia

Descendo dos Apeninos, num canal de superfície coberto por telhas de cerâmica, a água, dependia da Gravidade para progredir. Assim foi que os engenheiros mantiveram um declive constante de um a dois metros por milha. Quando estas águas atingiam a planície romana elas passavam a ser levadas por aquedutos até a cidade, onde elas eram jorradas em tanques de decantação de onde eram bombeadas para castelos d'água a partir dos quais eram distribuídas para tanques menores (cisternas). Das cisternas, canos de distribuição levavam as águas até fontes, banhos públicos e residências particulares. Até o século XIX as cidades européias e americanas eram supridas de água por processos iguais aos dos romanos.

A partir do momento em que o melhor caminho para o aqueduto era definido, realizava-se um mapa mostrando a localização de montanhas, vales e outros acidentes geográficos no entorno da linha do futuro aqueduto. Tornava-se então necessário realizar um mapa de elevação mostrando o perfil de montanhas e vales gerados pelo corte de um plano vertical (virtual). Para efetuar as medições das alturas dos acidentes do terreno, na linha de visada, era empregado um engenhoso aparelho chamado **chorobate**, que foi, possivelmente bisavô do nosso atual teodolito. Este aparelho, confeccionado em madeira, apresentava-se na forma de uma mesa tendo como topo um paralelepípedo de madeira, de 15 x 50 x 5 cm tendo bem no meio da sua superfície superior um rasgo de 3 cm de largura 30 cm de comprimento e 3 cm de profundidade. Em cada extremidade do rasgo estavam dois arcos de metal cravados na superfície da "mesa" de modo que a linha exata do eixo maior do rasgo passasse no meio geométrico dos dois arcos. De cada um dos lados maiores do retângulo-mesa pendiam dois fios de prumo, fixados próximos a cada um dos pés da "mesa". O rasgo do tampo era então enchido com água e posta a descansar. Cada um dos fios de prumo pendurado paralelamente à verticalidade dos pés do aparelho, garantia a perfeita horizontalidade do tampo do mesmo. Quando a água ficava imóvel, tornado-se um espelho, confirmava-se a perfeita horizontalidade com os prumos. Podia-se então fazer a visada do horizonte através das duas miras de metal. Criava-se assim, uma linha virtual do horizonte ao longo de toda a futura rota do aqueduto. Andando para a frente com o chorobate marca-se de 15 em 15 metros a distância vertical da linha do horizonte ao solo. Conectando-se todos os pontos plotados por meio de uma só

linha obtinha-se o perfil exato do terreno. De posse destes dados sabia-se com exatidão onde o aqueduto passaria por baixo do solo, onde, na superfície e onde seria suspenso a uma determinada altura.

O aqueduto tinha que ter um declive constante para fazer a água fluir em direção ao seu destino, determinado pelo projeto. Para evitar vandalismo, roubo de água ou mesmo sabotagem por envenenamento, o aqueduto ficava a, no mínimo, 20 metros de altura, do solo. Para apoiá-lo precisava-se da construção de um sistema de suporte formado por uma fileira contínua de arcos apoiados sobre pilares de seção quadrada que, por sua vez, eram apoiados sobre grandes e profundas fundações de pedra.

É este o momento histórico do surgimento do **arco de pedra** que seria recurso básico de se obter um apoio leve visualmente mas robusto estruturalmente para qualquer tipo de grande construção. Este recurso é recorrente desde a idade antiga até hoje, sendo que, à medida que nós nos aproximamos dos nossos dias estes arcos vão ficando cada vez maiores e vencendo vãos mais audaciosos. (Macaulay, 1976 p.38)

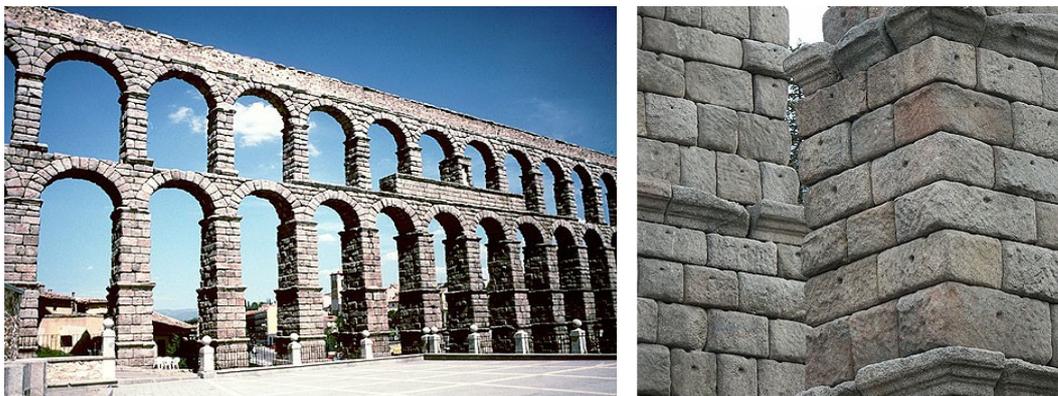


Figura 5: Aqueduto romano na cidade espanhola de Segóvia, com detalhe das furações, para içamento, feitas nos blocos de pedra.(foto Dan McCoy BLACK STAR)

As fundações e pilares eram construídos, com grandes blocos de pedra unidos por argamassa, colocados nas faces externas, e concreto no interior, deixado vazio pelas pedras das faces. Para içar e colocar os blocos de pedra das faces eram usados guindastes movidos por força humana. Tratava-se de uma estrutura de madeira tendo na parte superior uma grande lança e, na base, um grande cilindro, deitado sobre a sua geratriz, que era feito com ripas de madeira, pregadas a intervalos regulares, para deixar espaços entre elas. Dentro do cilindro, quatro homens caminhavam sobre os "degraus" propiciados pelas ripas, como se estivessem andando para a frente. À medida que eles faziam este movimento de "andar" o tambor girava e a corda que lhe estava enrolada

em volta, subia ou descia de acordo com a direção do caminhar dos operários dentro do cilindro. Na extremidade da corda, uma grande pinça de ferro em forma de **X**, articulada no meio, pegava os blocos de pedra nos rebaixos, previamente elaborados no meio de faces opostas entre si, do paralelepípedo (como se pode ver na foto dos arcos). Os blocos de pedra eram então travados uns sobre os outros por meio de grampos em forma de **"I"** introduzidos em orifícios feitos previamente nas faces dos blocos. Chumbo derretido era então vertido sobre cada uma destas conexões selando os grampos para sempre.

O **concreto** era feito diretamente dentro do oco do pilar. Para isto o pedreiro colocava primeiro uma camada de pedra moída em bruto (brita) sobre a qual ele colocava uma camada generosa de argamassa para unir solidamente a brita. Uma vez seca a argamassa, vinha outra camada de brita encimada por outra de argamassa e assim por diante até preencher, completamente, o corpo do pilar.

Assim que dois pilares paralelos estavam concluídos chegava a vez de se montar o arco sobre eles.

Os arcos eram construídos com blocos de pedra, em forma de cunha, cimentados com argamassa e montados sobre gabaritos de madeira. As cunhas eram posicionadas com as partes mais afiladas voltadas para baixo não só para formarem o arco mas também para se autotravarem pela ação da gravidade enrijecendo todo o **conjunto**.

O aqueduto em si, era então construído sobre a plataforma suspensa gerada pelo conjunto arco-pilar. Era um "cano" de pedra, com secção retangular, geralmente com 1,20 metros de largura por 2 metros de altura. As faces internas do "cano" eram impermeabilizadas com argamassa forte para evitar vazamentos.

Tudo pronto! Abram a comporta! O aqueduto vai dar início à sua sagrada missão que se realizará, sem interrupção, durante muitos séculos!

2.5.1.5.

Sistema de esgoto de Saturnia

Para que o sistemas de águas de **Saturnia** fosse totalmente eficiente restava a implantação de uma rede de esgotos e drenagem, igualmente eficiente. Os esgotos que se expandiram a partir dos canaletes ao longo dos meios-fios foram aumentando de tamanho até atingirem uma profundidade de 2 metros. Eram construídos com pedra e argamassa, sendo que, as suas partes

superiores, eram lâminas de granito que podiam ser removidas para facilitar acesso ao interior da tubulação para eventuais reparos. O sistema de drenagem de água e esgoto desembocava no rio, por baixo dos muros da cidade. Grades de ferro fechavam estas desembocaduras de modo a deixar passar a água e os detritos mas impedir a entrada de qualquer invasor.

2.5.1.6.

As construções intramuros de Saturnia

Uma vez concluídos os muros, as estradas, o cais e a ponte de acesso, tiveram início as construções dos prédios e áreas públicas mais importantes, a saber: o **forum** e o **mercado**.

O forum era todo pavimentado com granito e ocupava uma área de duas insulas. Em um dos lados menores do retângulo formado foi construído o templo de Jupter, Juno e Minerva.

Do lado oposto situava-se o **rostrum**, uma plataforma alta e aberta que servia de púlpito para discursos e leitura de decretos.

Ao longo dos lados maiores do forum ficavam, respectivamente a **curia**, espaço reservado aos senadores eleitos, lado a lado com a **basilica** que era a cômte de justiça.

O templo era feito com calcário polido ao passo que a cúria e a basilica eram de concreto revestido com tijolo que, por sua vez, era revestido com placas de calcário laminado. As armações triangulares eram feitas, invariavelmente, de madeira cobertas com telhas de cerâmica que se encaixavam resultando numa vedação perfeita.

Os templos e o forum eram cercados por colunas. As colunas tinham duas alternativas de construção: ou eram construídas com cilindros de pedra, empilhados e travados por tarugos de metal cravados nos seus centros e colados com argamassa, ou eram feitos com tijolos, em forma de cunha, com os vértices voltados para o centro e recobertos com argamassa embossada.

Depois de prontas as colunas tinham as suas superfícies escavadas por caneluras ao longo de todo o seu sentido vertical que lhes conferiam uma leveza visual maior. Este artifício, os romanos certamente aprenderam com os gregos que se davam ainda ao refinamento de, não só fazer as caneluras, como abaular ligeiramente os corpos das colunas, afiliando-as a medida que elas chegavam nos capitéis que apoiavam as arquitraves.

As fundações destas colunas eram apoiadas na rocha, a uns 6 a 8 pés de profundidade e, normalmente, eram construídas com blocos de pedra calcária (pedras de mão) soldadas com argamassa forte, isto é, na sua composição normal era adicionada rocha vulcânica moída.

Os armazéns e residências eram em geral feitas com armações de caibros de madeira cavilhados, enchida com tijolo ou pedra de mão cimentados com argamassa. O revestimento externo era de cimento e o interno de estuque que muitas vezes era alisado e preparado para receber pinturas ou mosaicos.

Na residências de maior porte os pisos eram, em geral, também feitos com mosaico policrômico. O mosaico era feito com pastilhas de vidro colorido ou pedacinhos de mármore, de várias cores, colados com cimento no contrapiso previamente preparado, para este fim.

Para completar o que foi determinado pelo plano urbanístico de **Saturnia** faltavam ainda: o **cais** para atracação de barcos e navios, as termas, o anfiteatro (arena) e o teatro.

O cais foi construído por meio das mesmas técnicas utilizadas para a construção da ponte. A sua posição em relação à margem do rio era inversa à da posição da ponte, isto é, a sua maior dimensão ficava paralela à margem. O cais tinha todas as facilidades para atracação de embarcações de qualquer porte da época além de mecanismos para embarque e desembarque de mercadorias, bem como armazéns de estocagem. Escadarias de pedra, construídas em rebaixos da fachada do cais, desciam até a água pra servir a pequenos botes.

Os banhos públicos, chamados **termas**, serviam, não só para o banho propriamente dito, mas também como lugar de encontros, conversas, prática de exercícios físicos, jogos de apostas e leitura.

O banho era realizado em três estágios. Primeiro os romanos se lavavam em água quente e vapor, numa piscina aquecida chamada **caldarium**. Em seguida relaxavam numa piscina de água morna, o **tepidarium**, para terminar o processo com um mergulho numa piscina de água fria chamada **frigidarium**.

Os pisos do caldarium, do tepidarium e do frigidarium eram cobertos por mosaicos e ficavam elevados a uma altura de 60 centímetros do solo, por pilares de tijolo, gerando um espaço no sub-solo chamado **hipocausto**. O hipocausto servia para conduzir os vapores quentes, destinados a aquecer o ambiente, que eram bombeados de uma fornalha que esquentava a água contida em grandes

tanques de metal. Cada um dos ambientes públicos das termas tinham tetos abobadados. No ambiente da piscina de água fria existia uma grande abertura circular chamada **oculus**, para permitir a entrada da luz solar.

As abobadas eram construídas em concreto, sobre grandes formas de madeira, mantidas no lugar por estacas de madeira, travadas entre si, que se apoiavam no solo. Por cima da superfície destas formas eram colocados encoframentos que diminuía de tamanho e profundidade à medida que se aproximavam do "oculus". Um vez seco o concreto, as formas e os encoframentos eram retirados deixando indentações na face interna do teto abobadado que, não só davam uma impressão de amplitude maior ao ambiente como leveza visual e física à estrutura, sem fragilizá-la. Esta técnica permitia ainda reduzir a espessura dos pilares e paredes de apoio⁹.

Para suprir a crescente demanda de água para os banhos e a população em geral, foi construído um novo aqueduto, exatamente por cima do antigo. Em alguns lugares da Itália foram encontradas ruínas de aquedutos com até três dutos sobrepostos.

Finalmente para completar o elenco de obras públicas em **Saturnia**, foram construídos o anfiteatro e o teatro, definitivos, dentro do Centro de Entretenimento, planejado para a cidade.

O primeiro anfiteatro, de forma oval, foi construído sobre um cômodo, feito pelos operários, logo no início da implantação da cidade. Foram feitos rasgos no cômodo para a construção de túneis abobadados que serviriam de acesso do público ao interior do estádio, por baixo das futuras arquibancadas de pedra, que seriam levantadas. Os túneis tinham disposição radial em relação ao centro do anfiteatro. A técnica de construção, tanto dos túneis abobadados quanto das arquibancadas, foi a mesma empregada para a construção das entradas dos portões do muro da cidade ou da muralha de proteção, propriamente dita, de Saturnia.

9 Perto das termas existia um pátio gramado que tinha ao centro uma piscina, circundada por uma colunata de dois pavimentos. Esta área era chamada de palestra e era usada para fazer exercícios de ginástica e luta, entre outras coisas. Por traz da colunata existiam: uma biblioteca com grande coleção de rolos, de papiro ou peles de carneiro, para leitura. (Macaulay, 1978 p.92)

O espaço central da arena foi afundada em quatro metros, e grandes piscinas foram construídas para a realização de encenações de batalhas navais. As piscinas eram impermeabilizadas com concreto especial formado por cal, areia, argamassa e rocha vulcânica moída. Quando não estavam em uso, eram cobertas com grandes pranchões de madeira. Existia um engenhoso sistema hidráulico, ligado ao sistema de adução ou esgoto, que permitia encher ou esvaziar estas piscinas em menos de três minutos.

Os túneis de acesso em forma de rampas, eram construídos de modo a permitir a entrada e a saída dos 20.000 espectadores em 10 minutos.

O grande muro que cercava o anfiteatro foi construído com pedras cuidadosamente lavradas e ancoradas entre si por meio de pinos e garras de ferro ou bronze. Ao longo do perímetro de toda a borda superior deste muro, estavam engastadas, de cinco em cinco metros, vigas de pedra, em balanço, apresentando, cada uma, um orifício. Por estes orifícios passavam grandes mastros de madeira cujos pés descansavam em lajes também em balanço engastadas nas fachadas cinco metros abaixo, como se pode ver até hoje no Coliseu de Roma. Estes mastros serviam para suportar e manter tensionado o **valarium**, uma grande cobertura de lona que, por meio de um engenhoso sistema de cordas e polias, podia ser estendido ou recolhido sobre toda a área dos espectadores.

O teatro era composto de uma platéia, bem íngreme, como na maioria dos teatros daquele tempo, feita de blocos de pedra, montados como degraus, usados para galgar e sentar, disposta em semicírculo diante do palco. O palco era de madeira e ocupava todo o eixo diametral da **cavea** (boca de cena). Em ambos os lados do palco ficavam os camarins. O cenário de fundo era ornamentado com nichos contendo estatuas, sustentados por colunas de mármore. A parede de fundo do palco tinha a mesma altura que o semicírculo da platéia. O teatro tinha também o seu **valarium** para total cobertura da platéia.

Cento e cinquenta anos depois da sua fundação, **Saturnia** atingia o seu limite de crescimento. Com o Império mais forte do que nunca os muros originais da cidade passaram a ter mais uma função além daquela para a qual foram construídos. A função de manter a cidade dentro dos seus limites!

Vista aos dias de hoje **Saturnia** foi projetada e construída com dimensões ergonomicamente pensadas para pessoas se deslocando a pé ou, no máximo, a cavalo. O surgimento de processos mais velozes de locomoção, que permitiam inclusive vencer distâncias maiores do que as adequadas ao padrão humano a pé, associados a aumentos populacionais exponenciais, causaram e causam até

hoje, explosões das dimensões urbanas, tornando as grandes cidades cada vez mais desumanas e difíceis de lidar, por um simples mortal andando a pé. Tanto é que a tendência do planejamento urbano mais atual é sub-dividir as megalópoles em cidades menores administrativamente autônomas, na tentativa de se voltar às dimensões urbanas ideais para o ser humano e não para o automóvel. Mas, isto é uma outra história!

"Nós damos forma aos nossos prédios e daí em diante **eles** é que passarão a nos dar forma."
(Sir Winston Churchill, *Engineering Design and Graphics*, 1973 p.8))

2.6. Construções Fortificadas, Muros e Castelos

Pela Arqueologia ficamos sabendo que as civilizações antigas, normalmente construíam muralhas. As muralhas, inicialmente feitas com taludes de terra e paliçadas de madeira, depois com pedras empilhadas em bruto, mais tarde com pedras lavradas e tijolos altamente endurecidos pelo fogo, tiveram um papel fundamental na proteção de cidadelas e cidades-estado da Antigüidade.

2.6.1. Muralha da China

O exemplo mais clássico é a Muralha da China. Considerada por muitos como um dos projetos de engenharia mais audaciosos de todos os tempos, a Grande Muralha foi construída durante séculos, empregando centenas de milhares de operários a um custo de vidas que jamais será revelado pela História.

A muralha se estendia por 6.000 km, desde a remota província de Gansu, no deserto, até o mar, na costa leste, em Shanhaiguan. Foi o primeiro imperador da China Unificada, Qin Shihuang (o mesmo que mandou construir o famoso túmulo guardado por 60.000 soldados de barro em Xi'An, que começou os trabalhos de construção de defesa da fronteira contra os mongóis no século III a.C.



Figura 6: A Grande Muralha da China (detalhe). (foto Wendell Phillips).

A muralha original de Qin quase que desapareceu deixando apenas uma trilha. A verdadeira muralha como a conhecemos hoje em dia, foi quase toda ela construída durante a dinastia Ming que durou de 1368 até 1644 a. D.

As primeiras seções foram feitas com taludes de terra que mais tarde eram encapsulados por blocos de pedra. Uma vez nivelado o solo eram colocadas camadas de pedras laminadas, como fundação. Sobre esta fundação eram então construídas as muralhas de pedra, paralelas entre si, sendo que o espaço entre elas era enchido com entulho, pedras de mão e terra, tudo muito bem compactado. Camadas de tijolos pavimentavam a estrada gerada no topo da muralha. Os tijolos e telhas para o piso eram moldados e queimados em olarias volantes que acompanhavam a progressão da obra.

As muralhas Ming eram largas nas fundações e afilavam a medida que se aproximavam do topo. Um trecho típico destas muralhas apresentava de 7 a 10 metros de altura, 9 metros numa seção da base e 5 metros nesta mesma seção, no topo.

Toda a muralha era pontilhada a intervalos regulares por 25.000, entre torres de observação, portões, pequenos castelos fortificados, casas de guarda e mesmo templos e santuários. Torres de sinalização colocadas a cada 18 quilômetros lançavam sinais com fogo ou fumaça para avisar da aproximação de invasores. A largura das estradas, no topo da muralha, permitia o deslocamento de tropas de infantaria e cavalaria.

2.6.2. Castelos/ Fortalezas

A construção de fortalezas muradas evoluiu durante a época medieval, de pequenas construções de plantas quadradas ou retangulares e muralhas altas e grossas, com apenas algumas seteiras, até fortalezas sofisticadas com torres redondas (cilíndricas), que permitiam aumentar o ângulo de visão e que facilitava atirar no invasor num raio de 360°. Estes castelos eram auto-suficientes até no que se refere à água, hortas e pomares e trigo – tinham seus próprios moinhos para a moagem do trigo e fabricar pão. No que se refere à construção, as grossas muralhas de pedra maciça foram substituídas por engenhosas cascas de granito preenchidas com entulho e muralhas dentro de outras muralhas para retardar a invasão e mesmo combater o inimigo, digamos "dentro de casa."

Com o advento do canhão as fortalezas se tornaram obsoletas, mas os muros altos passaram a ter nova função, a de manter os canhões em pontos de comando sobre os invasores.

Dos exemplos mais notáveis que sobrevivem até hoje é o "Krak des Chevaliers", magnífica construção, ainda hoje quase que em perfeito estado, erguida pelos Cavaleiros Cruzados, no norte da Síria, por volta de 1142 a.D.

O Krak des Chevaliers – que, num híbrido de árabe e francês quer dizer, justamente, "Fortaleza dos Cavaleiros" – pertencia à Ordem dos Templários de São Jorge ou Dos Hospitaleiros, uma ordem religiosa-militar que ocupou a área nesta época. Esta fortaleza, capaz de resistir a um cerco durante muitos meses, foi construída no topo de uma montanha a 700 metros de altura sobre a planície norte da Síria. As paredes externas eram duplas e feitas com paralelepípedos de pedra com 40 x 70 x 33 centímetros nos respectivos lados. Por dentro destes blocos de pedra era colocado entulho misturado com argamassa.

2.7. Catedrais

O período entre os séculos XII e XIII da Alta Idade Média na Europa foi de grande opulência tornada possível pela riqueza do comércio e a organização do trabalho e conhecimentos especializados em **Guildas**. Além disso, um fervor religioso muito grande e um maior domínio da matemática e da geometria, além de técnicas de construção inovadoras, resultaram no surgimento das Grandes Catedrais.

Os mestres construtores, armados com instrumentos de desenho, simples porém precisos, e novos conhecimentos de geometria, projetaram e construíram abóbadas que alcançariam alturas nunca vistas e **arcobotantes** que viriam a ajudar a descarregar o peso dos tetos para mais pontos da fundação, aliviando assim, as paredes de suportarem, sozinhas, toda a carga do telhado o que permitiu que se obtivesse maior espaço interno, consumisse menos material e, o que é mais importante, que se pudesse abrir grandes janelas para a colocação de vitrais. Os vitrais eram grandes panos de vidro, formando desenhos magníficos com o emprego de pedaços de vidro multicoloridos, engastados em armações de ferro e chumbo, e que atingiriam dimensões espetaculares e jogariam luzes mágicas para dentro dos interiores das catedrais. Os vitrais viriam a se tornar emblemas desta época.

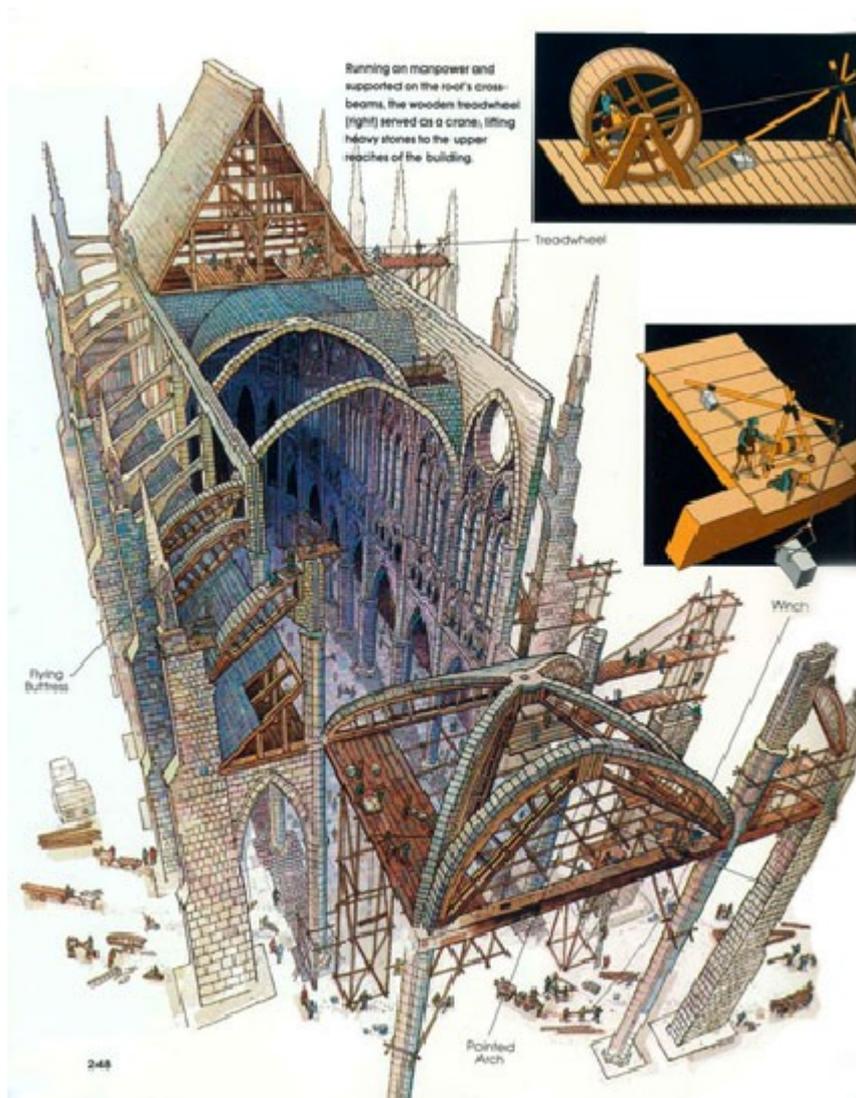


Figura 7: Detalhes da construção de uma catedral, com um guindaste humano, arcosbotantes e arcos ogivais com aduela. (The Builders, 1992 p.248) (Ilustr. Harry Bliss e Dale Glasgow)

O **arcobotante** introduzido por volta de 1.180 foi um artifício revolucionário de arquitetura que permitiu não só aliviar a compressão exercida pelo telhado sobre as paredes principais como também o crescimento em altura das igrejas, uma vez que resolvia bem os problemas de resistência às pressões dos ventos (contraventamento) que são fortes naquelas alturas. A idéia do arcobotante foi imediatamente disseminada e adotada em centenas de obras de catedrais por toda a Europa.

Com o alívio da carga nas paredes tornou-se possível, como já foi dito, fazer grandes aberturas onde seriam colocados os vitrais. O "Grand Rayonnant," instalado em 1250, na catedral de Notre Dame de Paris, é um bom exemplo. Ocupando um retângulo de 15 x 20 metros, e suportado apenas por dois pilares laterais, o grande vitral circular tem como elementos de suporte dos vidros, intrincadas molduras lavradas em pedra que se encaixam perfeitamente; tão

perfeitamente que há 700 anos suportam os 300 metros quadrados de vidro que compõe o Grand Rayonnant, na face norte da catedral, sem nenhum grande problema. Na verdade os engastes são tão perfeitos que permitem a desmontagem de trechos do vitral, para eventuais reparos, sem que o todo venha abaixo.

Um canteiro de obras de uma catedral fervilhava de mestres e operários como qualquer canteiro de uma grande obra dos dias de hoje. Membros das respectivas **guildas**, os artífices contratados eram organizados em times de trabalho com seus respectivos operários, com uma grande diferença em relação às grandes construções do passado, eles recebiam salários! Com isto estas obras tão gigantescas e ao mesmo tempo tão delicadas puderam ser realizadas, posto que, com o trabalho escravo bruto que ficou para trás, elas jamais seriam feitas, tenho certeza!

O Plano de Trabalho para a construção era, em geral, definido por meio de desenhos e modelos em escala para se estudar todos os detalhes da obra. Uma vez estabelecida a Planta Baixa e os principais detalhes, os construtores desenhavam, com precisão geométrica, em escala natural, sobre um piso especial de gesso alisado, chamado "chão de traçar", todo o detalhamento de todas as peças componentes do grande jogo de armar que resultaria na Catedral. Para evitar surpresas e custos adicionais, com eventuais reconstruções a estrutura era montada à razão de um arco ogival por vez.

A construção propriamente dita começava com as escavações para as fundações que, em alguns casos, alcançava a profundidade de 10 metros. Nos fundos das fundações ficavam os **plintos**, que eram plataformas largas de pedra para apoio das bases das paredes, colunas e arcobotantes. Uma vez colocados os plintos eram erguidos os pilares, paredes e arcos. Os pilares eram ocós, forrados de cantaria por fora e enchidos com entulho com argamassa. Quando a estrutura formada por estes elementos atingia a altura certa determinada, eram içados pranchões de madeira a serem apoiados nas vigas entre pilares, que formariam o teto da catedral e o piso para a operação dos guindastes humanos que içariam todas as peças para a parte superior da construção.

Depois do mestre construtor, em grau de importância, vinha o mestre carpinteiro responsável pelo projeto e supervisão da construção dos andaimes temporários e dos gabaritos para apoio e montagem dos arcos de pedra. O mestre carpinteiro também dominava a geometria até porque o seu trabalho é que dava a base para que o mestre construtor colocasse, com precisão a curva exata e o ângulo de encontro exato dos arcos ogivais. Uma vez colocados os

gabaritos, as pedras componentes dos arcos, que eram numeradas, eram içadas e colocadas seqüencialmente, ligadas com argamassa até que as pedras de toque fossem encaixadas para travar todo o conjunto. Como a argamassa levava, às vezes, meses para secar completamente, os gabaritos de madeira dos arcos tinham as bordas externas elevadas para evitar eventuais deslocamentos de pedras. (Macaulay, 1976 p.32)

Usando ferramentas simples como: fio de prumo, compasso, esquadros, guinchos, ponteiros e machados de ferro, plainas e um novo equipamento de trabalho: o Carrinho de Mão, os construtores de catedrais realizavam os projetos industriais mais complexos da Europa desde o tempo dos Romanos. Os avanços da engenharia foram notáveis se considerarmos a era pré-científica em que eles aconteceram. A organização do canteiro de trabalho mesmo, em grupos coordenados de profissionais pagos, não escravos, permanece como a sua conquista mais moderna. (The Builders, 1992 p.251)

2.8. Arquitetura do Ferro

Com o advento da Revolução Industrial o ferro, que de maneira nenhuma era desconhecido do homem, passou a ser oferecido em quantidade e variedade muito maior graças ao barateamento do seu custo de produção.

"Ha um momento na História em que o ferro passa a ser empregado com tão diversificados fins, dentre eles a construção de edifícios, que é inevitável o registro deste material como um fator essencial para as transformações de toda ordem por que passou a sociedade. Este momento é o século XIX. (Gomes da Silva, 1985 p.13))

A industrialização acelerou o processo de urbanização. Com isto a construção de pontes, edifícios para abrigar funções novas ou tradicionais, Galpões industriais, etc, foi uma atividade que recebeu grande impulso a partir de fins do século XVIII e se alastrou por todo o século seguinte.



Figura 8: Ponte construída com peças pré-fabricadas sobre o rio Severn 1779, Inglaterra. (foto Michael Holford)

O ferro esteve presente, a princípio timidamente, e, posteriormente com maior intensidade, como material de construção de uso considerável a ponto de se poder falar de uma **arquitetura do ferro**.

"A arquitetura do ferro se desenvolveu principalmente na Europa e nos Estados Unidos, durante todo o século XIX, mas, hoje em dia, graças a vários historiadores, sabemos que este tipo de construção se espalhou pelo Mundo principalmente nas colônias dos países produtores que a consumiram com maior ou menor intensidade, permitindo que se diga que a arquitetura do ferro foi um fenômeno mundial". (Gomes da Silva, 1985 p.23)

As primeiras ocorrências do ferro mais elaboradas nas construções foram registradas no século XV, mas muitos tratadistas do Renascimento como, por exemplo, o humanista, escritor, arquiteto e economista Leon Battista Alberti (1401 - 1472), recomendavam com veemência o uso de materiais tradicionais como a madeira a pedra e o tijolo que tinham suas propriedades por demais conhecidas em detrimento de novos materiais, preparados pelo homem como o ferro, por exemplo. Assim sendo o ferro continuou sendo usado quase que somente como elemento de decoração a não ser para a fabricação de grandes janelas, portas e grades de proteção para jardins, onde ele apresentava nítidas

vantagens de aplicação em relação aos materiais convencionais, não só no sentido de resistência como também no sentido de possibilitar uma quantidade maior de recursos decorativos.

A arquitetura do ferro trouxe inovações que teriam revolucionado o próprio conceito de construir, caso estas inovações tivessem sido assimiladas. No entanto, enquanto no universo da ciência e da tecnologia os grandes progressos eram saudados e aplicados no Mundo, nas artes as tendências eram ainda mais para o clássico como o neo-gótico e o medieval.

No entanto, o que o ferro como material de construção trouxe de facilidade e velocidade foi realmente muito, a saber:

a) Reprodução de quaisquer estilos:

O ferro fundido permitiu não só reproduzir qualquer modelo de pilar ou capitel com facilidade, como em grande série e, com rapidez.

O que valeu para a reprodução de detalhes arquitetônicos valeu também para a imensa gama de componentes não só da arquitetura como de mobiliário urbano e doméstico.

b) Mobilidade:

Os grandes prédios, pela própria natureza dos seus projetos eram montados por meio de componentes, conseqüentemente também podiam ser desmontados, e seus componentes ser transportados com rapidez.

Embora os monumentos clássicos de arquitetura do ferro nunca tenham sido deslocados, um dos paradigmas desta arquitetura, o Palácio de Cristal foi, efetivamente, desmontado e remontado em uma área próxima. Uma enorme gama de construções principalmente as exportadas para as colônias passaram a ter grande mobilidade de deslocamento.

"Centenas de casas foram desmontadas e despachadas por navio para os colonizadores na África do Sul, onde eram remontados em locais próximos às minas de ouro e diamantes." (Gomes da Silva, 1987 p.28)

O mesmo aconteceu na América do Sul, para onde foram enviados mercados públicos inteiros, prédios técnicos como: escolas, galpões de fábricas e estações ferroviárias, além de casas. Duas delas, desenvolvidas pelo sistema Danly¹⁰ sobrevivem até hoje em Belém do Pará. Igrejas pré-fabricadas que se deslocavam de acordo com as necessidades de assistência religiosa nas colônias dos países subdesenvolvidos também eram uma ocorrência freqüente no Terceiro Mundo.

c) Provisoriedade:

No início esta arquitetura foi tolerada porque pensava-se na sua provisoriedade, o que, na maioria dos casos não se realizou. Muitos destes monumentos, depois de terem cumprido suas missões específicas foram mantidos e são festejados hoje como exemplo do engenho construtor do ser humano. Os pavilhões de exposições se enquadram no efêmero, mas os mercados e grandes estações ferroviárias não foram construídos para uma curta duração e, no entanto, têm as mesmas características técnicas de construção dos grande pavilhões de exposições.

"Na realidade muitos destes edifícios em ferro, nos países subdesenvolvidos resistiram mais tempo do que os construídos com materiais convencionais sendo que nos países desenvolvidos, assolados pelas duas Grandes Guerras foram os que mais resistiram aos bombardeios aéreos". (Gomes da Silva, 1987 p.28-29)

d) Transparência e Leveza:

Uma construção feita em ferro tinha as mesmas características estruturais das grandes catedrais. O esqueleto era autoportante e com isto permitia que as fachadas fossem feitas de qualquer material, de preferência leve e transparente, porque não havia compromisso estrutural com o resto do prédio. Então porque não o vidro?¹¹

"Com isto o espaço ganhou uma fluidez, foi inundado de luz solar tão querida dos europeus. As construções se libertaram das grossas muralhas que exigiam decoração adicional para disfarçar seu peso estático e estético". (Gomes Silva, 1986 p.29)

10 O sistema Danly, desenvolvido na Bélgica, consistia em construir casas com a mesma técnica com que se construíam navios na época. Assim um esqueleto estrutural de chapas vasadas—igual a um cavername de navio—era forrado dos dois lados por meio de chapas (paredes) aparafusadas nos mesmos. Resultava uma estrutura oca, por dentro da qual, podiam correr tubulações de serviço e que, pela sua característica, gerava um colchão de ar propício ao isolamento térmico. Os telhados, também fabricados com tesouras metálicas era coberto com telhas de ardósia ou barro. (Nota do Autor)

11 A mistura de ferro e vidro se instalou nos nossos dias só que o ferro foi substituído pelo aço e o vidro pelo vidro temperado ou, mais recentemente, pelo policarbonato, o que permitiu panos de abertura de dimensões desconumais como se pode ver no recém inaugurado Museu de Astronomia de New York. O resultado é uma caixa de cristal totalmente transparente sobretudo à noite. (Nota do Autor)

Passou a prevalecer, no dizer do saudoso professor Flávio de Aquino "a verdade estrutural do objeto".

A aplicação do ferro significava aqui, não somente uma nova técnica de construir, mas a produção de um espaço totalmente novo.

e) Componentes:

O ferro permitiu a construção por componentes, como numa caixa de armar de brinquedo¹². Estes componentes eram fabricados em grandes aciarias e metalurgias e levados numerados para o canteiro de obras, onde após feitas as fundações e colocados os pilares de base, eram içados e encaixados ou rebitados nos seus locais de pouso.

A arquitetura do ferro gerou uma tipologia típica e própria na qual se enquadravam prédios clássicos e especiais, muitos dos quais sobrevivem até hoje, tais como: coretos de praças, estações ferroviárias, estufas de plantas, mercados públicos, fachadas, postos de bombeiros e faróis costeiros, entre outros.

Para mostrar o processo construtivo da arquitetura do ferro, escolhi como cenário a Torre Eiffel, talvez o maior símbolo desta arquitetura ainda existente.

2.8.1. A Torre Eiffel

Terminada em 1889 para a Comemoração do centenário da Revolução Francesa, a torre Eiffel era, no seu tempo, a estrutura mais alta construída pelo ser humano, ficando assim por mais quarenta anos.

Esta estrutura, simples na sua forma e genial na sua concepção, consumiu 9.700 toneladas de ferro, tem 330 metros de altura e está situada à margem do rio Sena em Paris.

O gênio por trás deste empreendimento foi o do engenheiro de estruturas, francês, Gustave Eiffel¹³ o qual, com o seu projeto, derrotou os 700 outros concorrentes que participaram do concurso lançado pela Prefeitura de Paris.

12 Não é por acaso que a partir do início do século passado surgiram brinquedos em forma de kits de construção onde as crianças podiam armar suas "grandes construções" utilizando perfis e placas de aço, de todos os tipos e tamanhos, unidos por parafusos. Marcas como Meccano, Erekto e Märklin Bau fizeram a felicidade da garotada e, quem sabe encaminharam muitos para a arquitetura e a engenharia. Eu fui um deles, com certeza! (Nota do Autor)

O ferro era o material da vez depois da Revolução Industrial e Eiffel o mestre no emprego deste novo material. Pela primeira vez na história uma construção abstrata era o objetivo do autor. Antes dele, a função de monumentos deste tipo era ditada por razões religiosas, políticas, militares, etc. Mas o que moveu Eiffel para a frente com o seu projeto, foi conseguir um **máximo de resistência com um mínimo de material**.

Ele desenhou a forma graciosamente afunilada dos pilares para fazer frente à força dos ventos dominantes na região. "Eiffel redefiniu a relação entre forma e função, criando uma forma de engenharia-arte". (The Builders, 1992, p.92)

Empregando 30 desenhistas durante 18 meses, e usando todo o seu conhecimento técnico adquirido construindo viadutos ferroviários no Maciço Central, Eiffel desenhou cada componente dos grandes pilares em arco, separadamente, sabendo da influência das cargas variáveis de compressão, tração e vento em cada ponto ao longo da enorme estrutura.

Devido às restrições de tempo e pela própria magnitude do empreendimento, Eiffel usou o mesmo expediente que já vinha utilizando nas construções dos viadutos ferroviários, a saber: as seções eram pré-fabricadas fora da canteiro da obra, numa metalúrgica especializada. Isto porque a precisão era absolutamente essencial para que cada peça da sub-montagem pudesse ser encaixada, rebitada ou aparafusada na outra, "in situ", com absoluta segurança e certeza.

O cuidado de Eiffel se revelou compensador. Mesmo quando os grandes guindastes à vapor içavam as pesadas peças à alturas de 100 metros os orifícios casavam perfeitamente. Mesmo assim ocorriam desajustes. Para resolver estes problemas Eiffel mandou instalar, na base de cada pilar de ferro, um macaco hidráulico capaz de elevar 900 toneladas. Estes aparelhos eram independentes entre si, e eram acionados, toda vez que havia necessidade de ajustar os ângulos de inclinação dos grandes pilares.

13 O engenheiro francês Gustave Eiffel (1832 - 1923) trabalhou com o ferro para criar maravilhas pelo mundo todo. Foi ele que desenhou o esqueleto da Estátua da Liberdade, o viaduto Garabit com 550 metros de extensão, 134 metros de altura e um vão livre de 189 metros, na França Central, a Ponte sobre o rio Douro no Porto, com 66 metros de altura e um vão de 180 metros e, é claro a torre Eiffel, obra magna da arquitetura do ferro. Neste projeto, considerado o primeiro em grande escala industrial, ele aplicou todo o seu conhecimento inclusive de aerodinâmica, ciência da qual ele foi um dos precursores, para testar os limites de resistência do ferro às solicitações dos esforços físicos, inclusive pressão do vento. Nos caixões de ferro, para construir as fundações em terreno macio e pantanoso, ele usou a moderníssima técnica, na época, de expulsar a água com ar comprimido. (The Builders, 1992 p.99)

A construção das fundações em concreto, também não foi fácil porque o terreno na margem do rio era pantanoso. Eiffel recorreu ao sistema de caixões de aço, estanques utilizados para construções submersas como se faz em pilares de pontes. Terminadas as fundações em concreto começaram a ser trazidas, para o local, as peças que eram fabricadas num galpão distante cinco quilômetros da obra. No caso dos guindastes movidos a vapor para o içamento das peças, Eiffel novamente se mostrou um gênio.

Cada guindaste, com capacidade para levantar 50 toneladas, era montado um de costas para outro num dos pilares, de modo a um compensar o peso do outro durante o processo de içamento simultâneo.

2.9. Concreto Armado/ Arranha-céus

Concreto é uma mistura de areia, cimento, brita e água. Ele é misturado em betoneiras para garantir a homogeneidade da mistura dos seus componentes. Esta mistura pode ser vertida em qualquer tipo de forma que lhe dará forma, depois de seco. A fôrma ou molde é desmontada ou retirada assim que o concreto estiver curado (seco). O concreto passa a ser denominado de **armado** quando se adiciona vergalhões de aço, pré-formados, ao concreto puro, dentro das fôrmas, para dar o máximo de rigidez à peça pronta.

Numa peça de concreto armado, quando solicitada por cargas, o cimento, a areia e a brita estão em **compressão** enquanto o ferro está em **tração**. Eis aí, a velha combinação de compressão com tração, mas, de novo, a primeira prevalece sobre a segunda.

Para erguer um prédio em concreto armado é preciso, primeiro, localizar no sub-solo a que profundidade estará o leito de rocha para apoio das fundações. Esta situação do leito rochoso a pouca profundidade é a ideal para construção, no entanto devido à técnica já muito desenvolvida em concreto as fundações podem ser: flutuantes, estaqueadas, pilares com sapatas e molhes de ancoragem, para fazer frente a qualquer tipo de terreno, desde a rocha sólida até o pântano.

A maioria dos prédios é construída na parte da superfície da terra que é composta de camadas de materiais como areia, barro, rochas misturadas e água. É bem abaixo destas camadas que se vai encontrar o leito de rocha maciça para apoio das estacas, que por sua vez, apoiarão os pilares dos prédios. Antes do início da construção é preciso estudar o solo para se saber a sua composição, as espessuras das diferentes camadas, a altura do lençol d'água e, em que profundidade está o leito de rocha.

A fundação é a estrutura construída para apoiar todo o prédio, descarregando para o leito de rocha as cargas estáticas e dinâmicas do mesmo. Como todo prédio apresenta movimentos de acomodação no terreno, as sapatas devem estar ancoradas entre si e ter tamanho de base suficiente para uma boa distribuição das cargas.

A fabricação (construção) de uma fundação começa pela escavação do local onde ela vai pousar. O buraco é mantido aberto, e sem desabamentos, por uma trincheira de chapas corrugadas de aço que são mantidas de pé e escoradas, paralelas entre si por estroncas de madeira apoiadas nas mesmas. É então construído um caixão de madeira com a forma da sapata, dentro do qual se coloca os vergalhões já formados e amarrados entre si com arame. Algumas pontas destes ferros ficam para fora do molde para servirem de ancoragem nos vergalhões da cortina (parede) ou do pilar que será assentado por cima da sapata. O concreto misturado é vertido dentro da fôrma e deixado secar. Sobre a sapata assim formada, monta-se as fôrmas verticais das cortinas ou pilares que sustentarão a estrutura do prédio. Para a construção da estrutura, o procedimento é exatamente igual, a saber: fôrmas de madeira ou metal na forma desejada, colocação dos vergalhões, deixando pontas de ancoragem e preenchimento com concreto que é vibrado para tirar as eventuais bolhas de ar. O mesmo processo com pilares e lajes dos andares até completar a estrutura do prédio. Durante os primeiros dias de cura do concreto deve-se manter uma determinada temperatura e um determinado grau de umidade. Para isto utiliza-se uma cobertura com filme plástico ou, nos casos mais sofisticados, aplicação de vapor d'água durante algum tempo.

2.10. Aço e Vidro

O final do século XIX viu surgir, principalmente nos Estados Unidos, mais especificamente em Chicago, um tipo de construção vertical onde o concreto foi substituído pelo aço. Com a evolução da laminação do aço, sobretudo pelo processo Bessemer, desenvolvido na Alemanha, que tornou o material muito mais resistente e barato e com a necessidade de reconstrução de uma Chicago devastada pelas chamas em 1871, vários empreendedores se animaram e se dispuseram a levantar a cidade rapidamente e com materiais mais confiáveis.

A primeira grande estrutura de aço e vidro, o Leiter Building, foi erguida em Chicago, em 1879, projeto do arquiteto William Le Baron Jenney. O prédio apresentava uma fachada com grandes panos de vidro montados sobre uma estrutura de vigas e pilares de aço Bessemer. Os prédios passavam a confiar sua estabilidade à estruturas de aço e ferro e não mais em pedra, tijolo e cimento e madeira.



Figura 9: Leiter Building - Chicago, USA. (Arquivo Biblioteca do Congresso Americano)

O aparecimento do elevador inventado por Elisha Otis em 1850, permitiu que se alcançassem alturas cada vez mais audaciosas. Isto, aliado aos cálculos precisos em relação a contraventamentos, vibrações e instabilidades de solos, fizeram do final do século XIX e de todo o século XX o cenário de construções inacreditáveis. Sem a necessidade de fachadas pesadas e grossas, necessárias a absorver parte da carga do prédio, os engenheiros podiam "encapar" suas estruturas com materiais leves que não gerassem uma sobre carga nos prédios e fizessem jorrar luz natural para o interior dos mesmos.

"A moldura de aço e o contraventamento na diagonal necessários à resistência contra a pressão do vento foram refinados durante os anos 1920 a 1930, preparando o caminho para o período moderno pós Segunda Guerra Mundial. De 1950 a 1960 muitos prédios eram revestidos com fachadas de vidro, uma técnica conhecida como paredes cortina. No entanto, o consumo de energia de baixo custo para ar condicionado era um requisito essencial para estas caixas de vidro". (The Builders, 1997 p.128)

Apesar de a construção em cortina se tornar popular, alguns senões fizeram com que os engenheiros procurassem novas soluções, pois, sem a ajuda adicional da rigidez da alvenaria para as fachadas, tornava-se necessário colocar treliçamento extra e esquadrias mais caras para fazer frente às cargas do vento e a ação da Gravidade. Este escoramento interno consumia muito espaço de piso interno o que era dispendioso.

Foi então que em 1960, Fazlur Kahn e Leslie Robertson abriram uma brecha inovadora. Eles pensaram o exterior do prédio como uma estrutura tubular rígida, o que dispensava muito do travamento interno. Kahn, juntamente com o arquiteto Bruce Graham usou este expediente em 1965 no prédio da DeWitt-Chestnut, USA, em que todo o exterior do mesmo formava um único tubo rígido de concreto, capaz de suportar toda a ação da Gravidade bem como as cargas de vento na suas fachadas.

Esta solução foi grandemente incrementada quando em 1974, no projeto das Sears Towers em Chicago, Kahn pensou num "feixe de tubos", isto é, o prédio todo seria composto por um feixe de nove módulos tubulares de seção quadrada (prismas retangulares) com as bases medindo 25 por 25 metros. Para dar um desenho dinâmico à fachada e aliviar cargas à medida que o prédio sobe, os nove tubos só vão até o 50º andar, quando passam a ser seis até o 66º andar depois, quatro até o 90º andar e apenas dois até o 110º andar que é também o último.

2.11. Tendas

O ano de 1972 assistiu não só às Olimpíadas de Munich como também ao surgimento de uma nova forma de construir. Estou falando aqui das tendas projetadas e montadas por Frei Otto para cobrir os estádios de Munich. Frei Otto teve formação básica como pedreiro, mas o seu interesse por aeromodelos estimulou-o a estudar aviões de verdade para daí extrair informações aplicáveis

à arquitetura. Foi assim que surgiu a "arquitetura das tendas". A rigor, esta arquitetura não é nada nova porque, desde a noite dos tempos os Tuaregs no norte da África e os mongóis das estepes russas constroem tendas para abrigo e moradia. A provisoriedade destas construções fica clara uma vez que estes dois povos são nômades.

A peça central da arquitetura do Parque Olímpico de Munich é uma dramática tenda de plexiglass, pendurada sobre o estádio por meio de cabos suportados por grandes torres tubulares de aço, ancorados por fora do perímetro do estádio. Neste caso a tenda toda está em tensão e os postes de ancoragem em compressão. A tenda em si é formada por uma malha (rede) de cabos que é curvada em duas direções (duas águas) para escoar o vento e estabilizar toda a construção. A rede, por sua vez é armada por meio de pilares cilíndricos de aço, ocos, apoiados em fundações de concreto. Como os mastros de suporte da tenda estão localizados por trás dela a vista do campo esportivo é total sem nenhuma obstrução.



Figura 10: Tenda estádio Olímpico de Munique (foto Hetz / MARTIUS)

Milhares de pinos com 10 cm de comprimento conectam a rede de cabos à cobertura de plexiglass. Estes pinos estão amarrados diretamente às placas de plexiglass e não às molduras de alumínio que as circundam. Desta maneira, as cargas das placas são transferidas diretamente para a rede e cabos, evitando distorções nas molduras de alumínio, permitindo ainda melhor vedação contra chuva e neve.

A escolha do plexiglass foi exigência das redes de TV, que iriam transmitir os jogos. Esta foi uma das primeiras vezes na História da Construção que a televisão teve impacto direto no design de um estádio esportivo. O emprego do plexiglass permitiu uma melhor iluminação zenital sem criar sombras muito contrastantes.

Se tem uma ironia na conservação destas construções é que Frei Otto sempre relutou em cobrir a superfície da Terra com obras permanentes.

2.12. Arquitetura Pneumática

"As estruturas pneumáticas não servem somente para solucionar, de forma mais correta, os problemas construtivos tradicionais mas, também, abrem novos campos construtivos, totalmente inéditos e somente possíveis com o emprego destas estruturas de grande leveza e facilidade de transporte". (Frei Otto, 1975 p.84)

"São chamadas de estruturas pneumáticas todas as estruturas cuja forma e estabilidade são determinadas por uma diferença de pressão exercida: seja por ar, líquidos, gases ou substâncias granulares." (Frei Otto, 1975 p.84))

O exemplo básico de uma estrutura pneumática é um globo inflável. Trata-se de um globo composto por uma membrana elástica que se estabiliza como tal graças à pressão interna de ar ou gases agindo, simultaneamente, em todos os pontos da superfície interna desta membrana. Assim estabilizada esta estrutura pode resistir tanto à esforços internos quanto aos aplicados externamente na sua superfície.

As estruturas pneumáticas são um dos múltiplos exemplos de estrutura tracionada reproduzindo, como veremos mais adiante, uma **estrutura tensegrity**.

As estruturas pneumáticas diferem das estruturas tenseis pesadas (como nas grandes pontes suspensas), bem como das membranas e redes de estruturas tenseis (como tendas e redes de cabos protendidos).

Em relação às estruturas convencionais suportadas por paredes, arcos e/ou pilares, a arquitetura pneumática tem como único material estrutural o ar comprimido agindo contra a membrana envolvente. Nas estruturas pneumáticas as cargas positivas não são descarregadas verticalmente mas sim em cada ponto da sua superfície equilibrada pela pressão interior. O elemento estrutural é a diferença de pressões criada normalmente por injeção de ar comprimido ou ar quente.

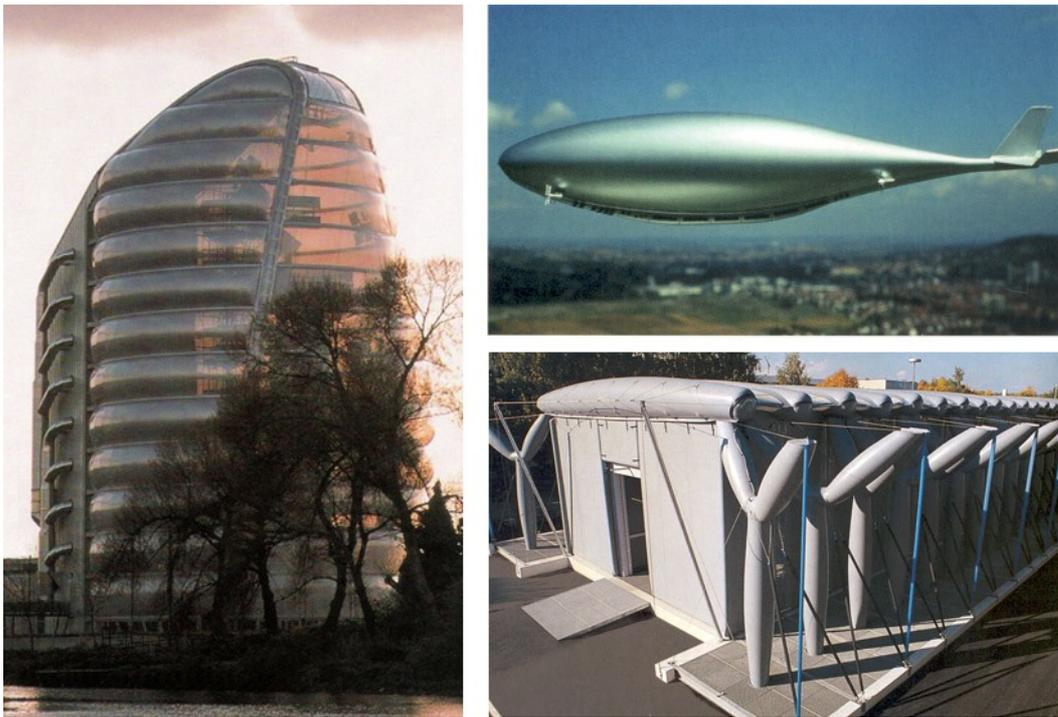


Figura 11: Exemplos de Arquitetura inflável: Leicester Space Center, Pavilhão inflável da Festo AG & Co Alemanha, Frei Otto - AirFish (fotos: Herbie Knott, Frei Otto Archives e Festo AG & Co)

Na verdade a tecnologia pneumática não é uma ciência recente, desde há muito o homem tem utilizado técnicas pneumáticas partindo, sem dúvida da observação das formas pneumáticas na natureza que existem, tanto no reino animal quanto vegetal. Em várias estruturas encontráveis na Natureza os fluidos sob pressão estão contidos dentro de membranas delgadas e flexíveis. No corpo humano o sangue, graças a sua pressão e viscosidade é contido por tubos e tecidos delgados que permanecem tensionados graças a esta pressão.
(F. Otto, 1976 p.84)

Aprendemos com ele ainda que um processo eficiente de se entender e projetar estruturas pneumáticas é estudando o comportamento das bolhas de sabão.

Qualquer ponto da superfície de uma bolha ou um aglomerado delas apresenta o mesmo estado de tensão; não se levando em conta as diferenças de tensão produzidas pelo peso próprio da lâmina delgada de cada bolha.

Não é possível produzir diferenças ou concentrações de tensão em um ponto da esfera uma vez que, devido à fluidez da membrana, estas se igualam imediatamente. As bolhas de sabão adotam, para um volume determinado, as formas de menor superfície criando pois as “superfícies mínimas”. (F.Otto, 1976 p.86).

Todas as formas que se pode obter com bolhas de sabão podem ser aplicadas à uma estrutura pneumática. Hoje em dia, graças aos novos materiais tenses e técnicas disponíveis pode-se prescindir de formas apenas semelhantes às bolhas de sabão e ir em busca de novas formas que resultarão tão eficientes em estado fundamental de carga quanto as formas convencionais.

O que ainda vai manter longe de um emprego de arquitetura pneumática em massa é o custo dos materiais e dos processos de fabricação envolvidos.

2.13.

Arquitetura Vernácula - Arquitetura sem Arquitetos

Existem ainda outros modos de se construir, hoje em dia, como as casas modulares construídas com peças fabricadas em fibra de vidro ou as ditas “verdes”, ecologicamente corretas, fabricadas com materiais reciclados como papel cartão resinado, por exemplo mas são manifestações ainda incipientes e de menor peso para este trabalho.

No entanto este capítulo não poderia deixar de reservar um espaço para a chamada Arquitetura Vernácula; no dizer de Bernhardt Rudowsky “Arquitetura sem Pedigrée”.

“Morar constitui uma necessidade básica do homem. Ao construir a habitação ele lhe imprime o próprio padrão econômico e sua condição sócio-cultural, utilizando geralmente o material fornecido pela natureza que o cerca de acordo com as técnicas que domina. Isto se evidencia claramente no caso da habitação rural. A moradia rural se adapta ao meio geográfico em que o homem vive a fim de protegê-lo das intempéries e dos rigores do clima.” (Barbosa da Costa, Irio e Mesquita, Helena Maria- Tipos de Habitações rurais no Brasil - Ed.IBGE 1978)

O homem rural brasileiro faz sua casa seguindo um instinto inato e o conhecimento adquirido por transmissão oral utilizando os materiais da própria região em que vive. Com palha, bambu, pedra e barro ele constrói um abrigo modesto mas confortável para si e sua família.

Este mesmo homem à procura de uma “vida melhor”, fascinado por uma idéia enganosa torna-se migrante e cai na Cidade Grande. Lá por falta de qualificação ele se despersonaliza e passa a ser mais um “paraíba”. O emprego na obra ou na fábrica, a venda da força de trabalho, o aprendizado rápido mas precário e, de novo, enganoso, começa a desviar o seu conhecimento inato na direção do desconhecido.

O contato com os novos materiais de construção o deixa aturdido. Ele acha que uma casa, para ser casa, tem que ter laje de concreto, tijolo industrial, pintura a óleo e esquadrias de alumínio. É um terrível engano. Estes materiais, caros e mal empregados vão contribuir para um resultado pobre e insalubre como moradia. Isto tudo sem falar nas legiões de despossuídos que nem emprego têm e moram debaixo de viadutos ou nas margens de canais de esgotos infectos, fabricando suas casas com qualquer material disponível. Um fenômeno muito freqüente a ser observado é a solução encontrada por estes pobres miseráveis reciclando o refugo das indústrias próximas. Na Grande São Paulo observei casas feitas com papelão corrugado ou prensado, placas de espuma de poliuretano, chapas de estamparias metalúrgicas e até coberturas feitas com sacos plásticos amarrados. Tudo sustentado por velhos cabos de vassouras ou galhos arrancados das árvores de ruas ou praças próximas. (Verschleisser, 1988, p.3)

As chamadas “habitações populares” oferecidas pelas autoridades, principalmente nos programas de “reabilitação de favelas”, apresentam casas programadas que são geralmente desassociadas dos anseios dos usuários. É uma arquitetura imposta por técnicos que na maioria das vezes nem se preocupam em estudar os hábitos ou atender os desejos dos futuros habitantes. Cria-se uma situação deformada, pois, no meu entender a relação da casa deve ser com o usuário e não com o Estado.

Com o passar das gerações, o avanço do progresso e a miopia das autoridades e técnicos, o migrante perde as suas raízes, esquece sua origem e torna-se mais um "Zé Mané da Cidade Grande". É uma enorme lástima pois muitos se beneficiariam se fossem analisados e estudados os métodos originais e intemporais de construir deste mesmo homem, para dele se aprender formas mais humanas e adequadas de prover abrigo ao trabalhador de baixíssima renda. (Verschleisser ,1988 p.4)

2.13.1.

O modo intemporal de construir

“Existe um modo intemporal de construir. Tem milhares de anos de idade e é hoje o mesmo de sempre. As grandes construções do passado, as aldeias e tendas, os templos onde o homem se sente bem foram sempre construídas por pessoas muito próximas ao espírito deste modo. Como verás este modo conduzirá a qualquer um que o procure a edifícios que são em si mesmos tão antigos em sua forma quanto as árvores, as colinas e nossos rostos. O modo intemporal de construir é um processo que retira a ordem apenas de nós mesmos ; não pode ser alcançado: ocorrerá espontaneamente, se nós o permitirmos” .
(Alexander, 1976 p.21)

Trata-se de um processo por meio do qual a ordem de uma edificação ou de uma cidade surgem diretamente da natureza interna das pessoas, dos animais, das plantas e da matéria que os compõe.

É um processo que permite que a vida interior de uma pessoa — ou de uma família, ou de uma cidade — floresça abertamente, em liberdade, com tanta pujança que faz nascer espontaneamente, a ordem natural necessária para o sustento da dita vida.

"Temos aqui um instinto humano fundamental, tão intrínseco como o desejo de ter filhos. É simplesmente o desejo de fazer uma parte da natureza, de completar um mundo que já é formado por montanhas, rios, flores e pedras, com algo feito por nós e que também passe a fazer parte da natureza e do nosso entorno imediato".¹⁴
(Alexander, 1976 p.22)

Poderemos comparar muitos processos de construção diferentes, mas descobriremos que por trás de todos eles existe um único processo comum. Este processo é extremamente funcional e preciso. Não se trata meramente de uma idéia vaga nem de uma classe de processos que podemos compreender; é bastante concreto e específico como para funcionar praticamente. Nos oferece a possibilidade de dar vida a cidades e edifícios tão concretamente como uma faísca nos permite fazer fogo. É um método ou uma disciplina que nos ensina com precisão o que devemos fazer para construir edifícios vivos.

No entanto apesar deste processo ser preciso não se pode utilizá-lo mecanicamente. Em última instância, resulta que este método nos libera, simplesmente de todo método.
E por esta razão o modo intemporal é, finalmente, intemporal.
A capacidade de fazer edifícios bonitos já reside dentro de cada um de nós.

14 “Na verdade sempre existiu este modo intemporal de construir. Ele está subjacente, por exemplo, na construção das aldeias tradicionais, africanas, os islâmicos, nos mosteiros da Idade Média, nos templos do Japão, nas construções simples e despojadas das aldeias campestres inglesas, norueguesas ou austríacas. De uma maneira inconsciente este modo tem estado latente durante milhares de anos em quase todas as formas de construção.”
(Alexander, 1976 p.23)

Porém tal como estão as coisas, hoje em dia, nós temos sido esmagados com tantas regras, conceitos e idéias do que devemos fazer para construir um edifício ou uma cidade vivos, que tememos o que ocorrerá naturalmente, razão pela qual nos convencemos de que devemos trabalhar dentro de um “sistema” e com “métodos” pois cremos que sem eles nosso entorno se fundirá em caos.

E, de novo em Christopher Alexander lemos que :

“Os pensamentos e temores que alimentam estes métodos são ilusões.”
Para purgarmos estas ilusões, para nos libertarmos de todas as imagens artificiais de ordem que distorcem nossa natureza interior, devemos primeiro aprender uma disciplina que nos ensine a autêntica relação entre nós e o nosso entorno. Uma vez que esta disciplina tenha cumprido sua tarefa e estourado as bolhas de ar às quais nos aferramos, estaremos prontos para abandoná-la e atuar como faz a natureza. Este é o modo intemporal de construir; aprender a disciplina e depois descartar-se dela.” (Alexander, 1976 p.26)

2.13.2.

Arquitetura sem arquitetos (Bernard Rudofsky)

O domínio da arquitetura vernácula (anônima) é muito abrangente, tanto no que se refere a materiais e às técnicas. A maioria dos materiais, é claro, vêm direto da Natureza ou são transformados pelo homem utilizando técnicas que a própria Natureza ensina. É o caso do tijolo de adobe, da madeira, do bambu, das fibras naturais, da pedra, do gelo, do couro, das palhas e da turfa que durante milênios foram utilizados de maneira, muitas vezes genial no emprego das leis, também naturais, da física para a geração de objetos e estruturas destinadas ao benefício e abrigo do homem. Temos que considerar ainda a arquitetura por subtração. Destacam-se aí as residências escavadas nas montanhas da Capadócia e França, as construções feitas por entalhe na rocha viva como em Petra ou as escavações em troncos de Baobás na África.

Outra fonte muito rica em conhecimentos e soluções é a arquitetura nômade das tendas dos Tuaregs e dos Yurts dos mongóis das estepes asiáticas onde aparecem todos os tipos de estruturas tensionadas que são muito resistentes e leves podendo ser transportadas e armadas com rapidez .

Notáveis também são as ferramentas de uma maneira geral, poucas e simples, e as técnicas de içamento e ancoragem das peças estruturais. A proto-indústria da arquitetura vernácula oferece, para aqueles que sabem perceber, uma grande quantidade de conhecimentos práticos e simples na geração de energia, fabrico de peças moldadas ou torneadas, além de soluções primitivas mas audaciosas que foram as precursoras da pré-fabricação, padronização de

componentes construtivos, estruturas móveis e intercambiáveis e, mais especialmente aquecimento ou refrigeração centrais, controle de iluminação e até elevadores.

Estudando todas estas soluções vamos descobrir abismados que elas já existem há milênios, por exemplo: o conforto ambiental natural de uma residência rural africana ou árabe é normalmente considerada já no projeto ou que as complicadas soluções para os abrigos atômicos do futuro têm seus precursores nas cidades subterrâneas há muito existentes nas partes menos “nobres” do Planeta.

É irônico mas verdadeiro que o homem urbano atual, cercado de máquinas e engenhocas, supostamente concebidas para o seu conforto e bem estar, abandone tudo nas férias para procurar uma vida simples, cercado de coisas primitivas como cabanas, tendas, caminhadas a pé, comida natural e, simples contemplação da Natureza!

O construtor anônimo compreende os limites da sua ação e da sua arquitetura. Ele jamais prejudica o bem estar geral na perseguição do lucro ou do progresso duvidoso. O filósofo Johan Huizinga conforme citado por Bernard Rudofsky :

“É extremamente ingênuo de se pensar que cada nova descoberta ou refinamento dos meios existentes contém uma promessa de valores mais altos e maior felicidade... Não é nem um pouco paradoxal dizer-se que uma cultura pode afundar justamente por causa do seu progresso”. (Rudofsky, 1964 p.6)

Não pretendo aqui levantar a bandeira ingênua do retorno total ao campo e ao passado. O avanço da indústria e da tecnologia, para o bem ou para o mal, é uma realidade inquestionável. O mesmo acontece com nossos centros urbanos e as habitações que os compõe. Além do mais o objetivo aqui é estimular uma revisão do modo convencional de projetar em design e arquitetura mostrando simplesmente as principais técnicas e materiais dos quais sempre se valeram os construtores anônimos para resolver, muitas vezes de maneira brilhante, os problemas que se impunham na construção de suas vivendas, prédios comunitários e centros urbanos.

No entanto, não posso me furtar de tocar num tema crucial para todos aqueles que pretendem se aprofundar no assunto da arquitetura vernácula. Para entendê-la na sua totalidade é preciso estudar o seu modo de produção também pelo lado social. É preciso compreender, pelo menos em parte, aquilo que é importante nas formas construídas de uma determinada comunidade; aprender as prioridades, a função destas formas construídas, a estrutura simbólica, as hierarquias e os espaços delimitados.

Muitos autores, principalmente arquitetos, investigam a arquitetura vernácula em termos exclusivamente ligados as especialidades e especificidades da sua disciplina. Isto gera uma visão distorcida e limitada de um todo muito mais complexo.

"É incongruente a atitude do arquiteto que aplica os critérios específicos da arquitetura profissional à formas construídas que não são produto da especialização arquitetônica. Por mais que este profissional se entusiasme ante a qualidade do espaço, a volumetria ou a expressão da estrutura da habitação vernácula estes fatores são apenas abstratos e não fatores condicionantes nem determinantes no projeto de edifícios". (Paul Olivier, 1978 p.32)

Destaca-se aqui o domínio da antropologia estrutural. Levi-Strauss escreve que é necessário estudar-se o planejamento e a construção de habitações e aldeias em conjunto com "as estruturas duais de organização social", e mais: que a totalidade é um dos objetivos desta divisão da antropologia, onde a vida social é vista como um "sistema cujos aspectos se encontram todos organicamente conectados." (Paul Olivier, 1978 p.30)

"A antropologia estrutural pretende descobrir a ordem pela qual se regem todos os aspectos do comportamento e estrutura de uma sociedade determinada; trata-se de uma ciência, abertamente semiológica, interessada na natureza dos signos e recorrendo à lingüística como disciplina mais apropriada para o trabalho do antropólogo estrutural". (Paul Olivier, 1978 p.30)

Da mesma forma, os espaços criados para a comunidade e as habitações têm funções sociais; a sua forma de produção está condicionada pelos materiais disponíveis que vão determinar o uso das técnicas usadas para a sua manipulação.

Neste mister, em nível universal, cabe-nos estudar o adobe, o bambu, o junco, a rocha maciça ou a pedra solta, a argila, a madeira, a fibra, o couro e as peles em geral, o gelo e a turfa; e, em nível nacional, para os mesmo fins, a saber estruturas e fechamentos: o bambu, a madeira, a piaçava, as fibras, o barro e a pedra de mão. Enfim um grande número de materiais que o homem encontra na Natureza em todas as partes do Planeta, de acordo com as suas

necessidades, possibilidades de obtenção e práticas de utilização. Estes sistemas de gerar proteção frente à natureza (sol abrasador, chuvas torrenciais, nevascas, tempestades de areia, enchentes ou tremores de terra) resultam de um prolongado processo de problematização, adaptação, experiências transmitidas e compartilhadas e inovações acrescentadas.

Uma última palavra. Uma das conseqüências do avanço inexorável do progresso industrial é a produção de lixo em forma de material descartado como resto do processo de fabricação. No entanto, este "lixo", se empregado inteligentemente, pode produzir novos materiais, para a construção de novas estruturas que resultarão, entre outras coisas, em novas formas de abrigo de baixo custo surpreendentes. Alguns grupos de arquitetos designers trabalhando em estreita sintonia com cientistas de várias áreas tem desenvolvido em países como Alemanha, Holanda, Estados Unidos, França, Inglaterra, Índia e África, excelentes projetos de reciclagem de refugos de material industrial convencional para a resolução de habitações fáceis de transportar e construir, seguras, confortáveis em sintonia com os anseios das respectivas comunidades integrando-as mais corretamente no seus respectivos entornos ambientais.

As experiências e lições estão aí para quem quiser. É só saber perceber o papel do arquiteto pelo ótica correta; basta perceber o **modo intemporal de construir!**