

**UNIVERSIDADE PRESBITERIANA MACKENZIE**

**Partido Estrutural Enquanto Linguagem na Arquitetura Contemporânea.**

**Daniel Hummel Bittencourt**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Presbiteriana Mackenzie para obtenção do título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo.

**Orientador: Dr. Carlos Egídio Alonso**

São Paulo  
2007

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

Aos professores da Pós-Graduação e da Graduação em Arquitetura e Urbanismo que se fizeram presentes e constantemente auxiliaram, incentivaram e confiaram na íntegra conclusão deste trabalho.

A todos os parentes e amigos que de alguma forma criaram alicerces sólidos para que esta empreitada se definisse com sucesso.

## AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador Dr. Carlos Egidio Alonso, pelo apoio, incentivo e confiança integral depositados, sem o qual certamente os rumos deste trabalho seriam menos promissores.

Ao professor Dr. Candido Malta Campos Neto, pelas muitas e esclarecedoras exposições em aula e atenção individual dispensada ao longo do curso, a cautela e o cuidado empregado ao melhor entendimento deste trabalho amparou e formou a base para uma maior eficácia produtiva.

Ao professor Dr. Carlos Guilherme Mota, fonte essencial à formação das linhas mestras conceituais deste trabalho e fonte essencial à formação de qualquer produção acadêmica que aborde fatos históricos e humanos.

A professora Dra. Maria Augusta Justi Pisani, há tempos exercendo grande influência profissional e oferecendo a este estudo importante fonte de conhecimento, gerando imprescindível auxílio à conceituação do trabalho.

A professora Dra. Gilda Collet Bruna, sempre muito perseverante, dinâmica e precisa; disponibilizando uma retórica ampla e um apoio incondicional nas diferentes etapas do trabalho.

A todos os professores que tiveram contato com este trabalho e puderam, de alguma forma, ilustrar, auxiliar e enriquecer o conteúdo do mesmo.

Aos amigos, parceiros e parentes pelo suporte processual, emocional e muitas vezes material, possibilitando a continuidade e o encerramento desta jornada nem sempre tranqüila.

## **RESUMO**

Com o intuito de melhor entender e definir como se formam, física e conceitualmente, projetos públicos de grande porte cuja conotação estética está baseada na estrutura, serão apresentados neste estudo questões referentes às classes de sistemas estruturais, materiais construtivos, técnicas construtivas, técnicas projetuais, assim como as correntes culturais que influenciam e há muito vem influenciando projetos pelos quais a arquitetura mais representativa se revela.

## **ABSTRACT**

With the intent of better understanding and defining how large scale public spaces, in which esthetic connotation is based on form, are formed first as a concept and then physically, shall be presented in this work questions regarding the different classes of structural systems, construction materials, construction techniques, design techniques, as well as the cultural streams which have been a major influence on projects where the most representative architecture reveals itself.

## SUMÁRIO

<b>Introdução</b> .....	<b>1</b>
<b>1. Sistemas Estruturais</b> .....	<b>8</b>
<b>2. Materiais e Processos Construtivos</b> .....	<b>32</b>
<b>2.1 Concreto: História e Propriedades</b> .....	<b>34</b>
<b>2.2 Aço: História e Propriedades</b> .....	<b>43</b>
<b>2.3 Sistema CAD/CAM</b> .....	<b>53</b>
<b>3. Partido Estrutural na Arquitetura Pós-Moderna</b> .....	<b>59</b>
<b>4. Estudos de Caso</b> .....	<b>79</b>
<b>4.1 Catedral de Brasília</b> .....	<b>81</b>
<b>4.2 Ponte JK</b> .....	<b>96</b>
<b>4.3 Opera de Sydney</b> .....	<b>107</b>
<b>4.4 Ponte de Sevilha (Alamillo Bridge)</b> .....	<b>123</b>
<b>Considerações Finais</b> .....	<b>138</b>
<b>Créditos das Ilustrações</b> .....	<b>143</b>
<b>Referências Bibliográficas</b> .....	<b>146</b>

## **Introdução**

---



A arquitetura enquanto disciplina tem a função de organizar todo o espaço construído, neste processo devem ser levados em consideração os fatores físicos e sociais que possam influenciar estes espaços produzidos em função do ser humano e com a finalidade de manter e melhorar o desenvolvimento do mesmo em suas demais áreas produtivas. Com um melhor entendimento desta função, que talvez seja a mais multidisciplinar executada de forma empírica e material, a arquitetura se funde, com cada vez mais domínio e de maneira indissociável às demais disciplinas inerentes a si, entre elas desde o início, a engenharia construtiva. Com o auxílio das novas tecnologias e um melhor entendimento prático das possibilidades mecânicas, o arquiteto contemporâneo tem a possibilidade de representar na estrutura seu partido de diferenciação das demais arquiteturas executadas em períodos anteriores.

Com um ofício que exige de maneira geral inovação constante, necessária a sua evolução, a arquitetura de hoje, como também em outros tempos, busca muitas vezes nas formas da natureza inspiração para suas soluções construtivas, tendência esta que geralmente encontra meios de se expressar em grandes espaços e monumentos de uso público. Influenciados por uma cultura de diferenciação e liberdade, estes novos edifícios ostentam suas formas e suas dimensões potencializando uma tendência que já vem sendo explorada há décadas.

Desde a utilização das primeiras estruturas independentes, esta estética visceral tem sido explorada e desenvolvida freqüentemente em prédios públicos. No caso dos edifícios góticos, devido à época de seu desenvolvimento, este estilo apresentou-se como uma solução construtiva revolucionária, que fugia de muitos rigores clássicos como por exemplo à proporção, típica do estilo predominante e anterior a ela, e acabaram por revelar uma beleza inédita; estética esta que se manteve anestesiada durante séculos e que recentemente voltou a

ser utilizada com toda uma intenção formal peculiar e, claro, uma condição histórica influenciadora.

É certo que se novamente as estruturas nos edifícios foram evidenciadas, isso se deve não apenas as evoluções tecnológicas, mas também as tendências culturais, e é exatamente nestes dois pontos que tentaremos desenvolver aqui como se formou um dos novos padrões da arquitetura contemporânea, que, seja através da estrutura ou quaisquer outros elementos, tenta buscar uma dinâmica e determinação inovadora e eclética sem necessariamente refletir estilos passados, mas seguramente despreocupada com dogmas.

Na questão tecnológica da construção de edifícios, nada evoluiu de forma tão substancial quanto a estrutura, afinal ela passou de uma solução hermética e limitada a um elemento essencial na arquitetura pós-industrial. O concreto armado certamente foi o impulso libertador que possibilitou aos arquitetos do século XX, um rompimento a qualquer vínculo restante com a arquitetura executada no período clássico; este material pôde ser aplicado nos mais diversos programas, residencial ou público, grande ou pequeno, sem maiores problemas, e isso ocorre até hoje.

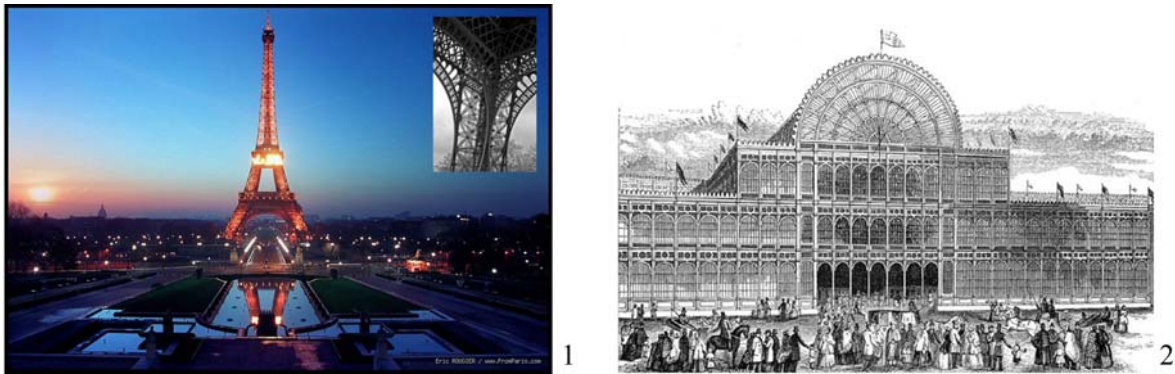
No âmbito sócio-cultural, o movimento moderno, porta-voz desta nova tecnologia que era o concreto armado, não teve em sua empreitada inicial toda a repercussão esperada. Inserido em um período de grandes inovações tecnológicas nas demais áreas, foram necessárias algumas décadas para que a imagem inovadora da arquitetura moderna demonstrasse sua qualidade e fosse aceita enquanto expressão estética correta para aquele tempo, sendo que no discurso dos oradores da época, era unânime a afirmação de que sua função precedia à estética, conceitos que em uma fase posterior, sob uma análise mais detalhada, se fundiram sem necessariamente desqualificar um ao outro. John Summerson, no livro *Linguagem Clássica da Arquitetura* coloca sobre a arquitetura moderna: “explodiu como uma bomba de efeito retardado”(SUMMERSON, p. 109), ou seja, a Europa estava mais do

que pronta, buscando uma renovação que trouxesse qualidade para seu território, principalmente na questão urbana; séculos atrás, a expansão ultramar pareceu resolver o problema populacional da Europa, porém, com o passar do tempo, era visível a qualidade atingida nas terras novas, locais onde segundo Benévolo, era possível simplesmente se lançar uma malha e resolver o problema do espaço urbano, se contrapondo à decadência do espaço ocupado no velho mundo, onde já não se viam muitas perspectivas de avanço neste ponto. A somatória de todos estes fatores: busca de qualidade urbana, auge da produção industrial e devastação das cidades no período entre guerras, geraram a oportunidade que o movimento moderno tanto esperava. Com sua semente plantada no início do século, ela germinou algumas décadas depois e ainda levou mais algumas décadas para florescer.

O concreto armado apresentou ao mundo novas possibilidades construtivas, porém foi o aço a primeira grande tecnologia estrutural utilizada nos edifícios pós-industriais, e hoje, quando tratamos destes projetos públicos de grande porte, o aço volta a ser a linguagem mais representativa; de modo geral, no campo da expressão plástica, nada substitui com consistência estes dois materiais.

A utilização do aço em obras arquitetônicas de grande porte surgiu antes do movimento moderno, mais precisamente no século XIX, porém a utilização do ferro em estruturas de pontes já ocorria desde o século XVIII. A primeira grande obra produzida em, ainda, ferro, foi a ponte sobre o rio Severn em Coalbrookdale, Inglaterra (1779), este projeto de Abraham Darby, com um vão que vencia tímidos 30 metros, foi executado com sistemas de forjas rudimentares e inaugurou uma nova era na estrutura das edificações. Posteriormente, apenas em 1801, na cidade de Manchester foi executado o primeiro edifício industrial em ferro, mas a primeira grande cobertura foi o Palácio de Cristal, construído em 1851. Executado para abrigar uma feira mundial este edifício se tornou o ícone da liderança industrial Britânica, e Londres, que em 1821 tinha 1,2 milhões de habitantes, em 1901 passou

a ter 6,6 milhões, em sua maioria imigrantes das colônias; um marco de sua hegemonia industrial e econômica. Junto com outros edifícios como o a Biblioteca Nacional de Paris (1860 – 1868), por Henri Labrouste; o Edifício dos Correios (1903), por Otto Wagner e claro a Torre Eiffel (1889), por Gustave Eiffel, representativa do centenário da revolução francesa, o Palácio de Cristal acabou por traçar um novo panorama de monumentos dentro das cidades, porém, apesar de estas obras possuírem peças não modulares de aço ou ferro, sua execução era toda feita de forma praticamente artesanal.

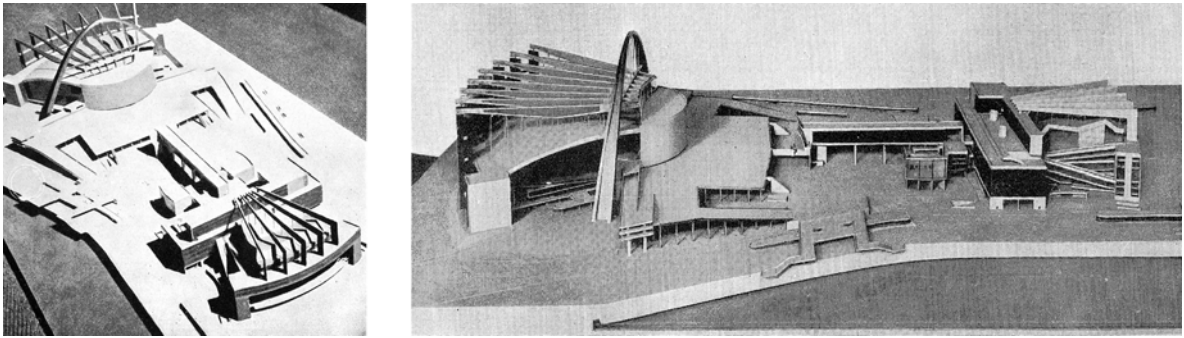


**Figura 1** – (1) Torre Eiffel - Construída em 1889, em um sistema de treliças espaciais, esta edificação se tornou um dos signos mais prestigiados do mundo. (2) Palácio de Cristal – Primeira grande estrutura metálica com fechamento em vidro. Construída para abrigar uma feira mundial, causou grande espanto ao divulgar as possibilidades de um sistema construtivo revolucionário.

Após esta descoberta do aço na arquitetura, a expressão plástica do aço só voltou a ser explorada há pouco tempo com edifícios como o Centro Pompidou, em Paris. Este edifício marca uma retomada pós-moderna na utilização de peças em aço distintas das convencionais; anunciava, ainda que de maneira relativamente simples e modular, à volta de peças em aço produzidas especialmente para um edifício, não em grandes séries como no caso dos prédios arranha-céus construídos neste meio-tempo.

O concreto que a partir do século XX se tornou o material mais utilizado em grandes edifícios pode ter como um dos marcos iniciais de uma tipologia monumental o Palácio dos Sovietes. Projetado por Le Corbusier em 1931, não executado, mas possuía em suas linhas o

anúncio das características pós-modernas mais tecnológicas, até mais forte do que o próprio Centro Pompidou, executado posteriormente.



**Figura 2** – Palácio dos Sovietes – Projetado em 1931 por Le Corbusier e não construído devido sua extrema complexidade estrutural, este projeto revela os primeiros impulsos a uma arquitetura orgânica e extraordinária.

Enquanto na Europa as primeiras expressões pós-modernistas ocorriam de maneira muito cuidadosa, no Brasil, durante as décadas de 50, 60 e 70, com o período histórico conhecido como Milagre Econômico<sup>1</sup>, ainda dentro de uma fase considerada modernista na arquitetura, edifícios de repercussão mundial em concreto armado despontavam como ícones esculturais. Arquitetos como Oscar Niemeyer, Vilanova Artigas e posteriormente Paulo Mendes da Rocha, desenvolveram as possibilidades do concreto a padrões inimagináveis para a época. Usando a linguagem simples e de formas limpas do modernismo, estes arquitetos foram capazes de desenvolver grandes exemplos de estruturas aparentes, incentivando e catalisando mais estudos sobre o concreto no Brasil e no mundo.

A arquitetura moderna brasileira finalmente se representava, e em uma liberdade formal que não era aceita até então, veio para preencher uma lacuna interna que havia entre os estilos eclético e colonial; e talvez por isso nossa arquitetura moderna tenha se

---

<sup>1</sup> Milagre Econômico – Nome dado ao conjunto de medidas político-econômicas que visavam um incentivo ao desenvolvimento dos países da América do Sul que se mostrassem favoráveis à política de governo Norte-Americana.

expressado muitas vezes com um teor estético expoente demais, muito mais significativo do que pregava a arquitetura moderna européia límpida e genuína. Nas residências pode-se dizer que houve produções modernas ‘conservadoras’, se é que se pode usar este termo, porém nossa condição cultural miscigenada exigia que o modernismo não fosse apenas a negação de uma arquitetura rebuscada e sim a possibilidade de se produzir uma arquitetura vernácula mais expressiva do que a então colonial; aceitando uma condição de país jovem e tentando formar sua identidade própria.

Pode-se dizer que foram as condições político-econômicas que permitiram a disseminação do modernismo ao redor do mundo, mas a aceitação de uma imagem tida até então como utópica de cidade, deve-se nada mais do que a mudança no comportamento social pós-industrial. Esta mudança comportamental será o ponto crucial para a formação de uma arquitetura pós-moderna.

Trabalhando em cima de dados históricos e culturais, será apresentado neste segundo campo de análise, do que se trata o partido pós-moderno e como suas intenções formais se baseiam no estudo das estruturas, exposto anteriormente. A necessidade de exhibir, de maneira teórica, dois pontos tão dispares se encontrará de maneira convergente na análise empírica dos objetos de estudo, que serão exatamente edifícios produzidos com esta linguagem extremamente representativa do período pós-moderno.



O estudo das estruturas deve levar em consideração muitos fatores técnicos como a resistência dos materiais, forças atuantes, sobrecargas, engastes, solo e clima para que possa ser analisado de forma integral, mas o que torna uma estrutura tecnologicamente avançada e melhor resolvida para determinada função, são suas formas. As formas em uma estrutura são fator primordial para seu equilíbrio e resistência. Entender e induzir o caminho das forças é o que faz com que os materiais a serem empregados atinjam um melhor desempenho e, portanto façam daquela solução uma obra de referência para o estudo da arquitetura, engenharia, e como veremos mais adiante, para a cultura.

A maioria das estruturas utilizadas hoje na arquitetura de vanguarda é independente, ou seja, está separada de sua vedação e isso ocorre basicamente devido ao custo de implantação da obra. O fato de o edifício poder ser desmembrado em diversas partes e ter apenas em sua estrutura materiais densos e onerosos, ao mesmo tempo em que exige maior manutenção para manter sua vida útil, diminui seu custo executivo e dinamiza suas possibilidades estéticas; tanto para projetos de pequeno quanto para projetos de grande porte.

A qualidade efetiva do edifício dependerá de uma série de fatores técnicos relacionados aos diferentes tipos de materiais, e o arquiteto deve entender claramente o funcionamento e as dimensões de uma determinada estrutura para estudar o material mais indicado em cada caso. É ao redor desta questão que deverá transitar este capítulo, na definição dos tipos primários de estruturas e suas possibilidades de desmembramento e fusão com outros tipos de estruturas. Veremos adiante casos de obras onde a opção estrutural toma tanta ênfase na concepção do projeto que muitas vezes acaba por definir um uso mais restrito e menos funcional do edifício, por motivos que podem variar entre a opção estética, fatores econômicos ou necessidades específicas do programa.

O fato de um edifício possuir uma estrutura independente faz como que ele seja mais versátil do que aqueles cuja estrutura é formada por um bloco contínuo e de difícil alteração



posterior; sendo esta a pior característica dos sistemas monolíticos, sistemas que são quase totalmente formados por uma mesma massa material com resistência estrutural. Esta era uma tipologia muito utilizada nas arquiteturas pré-modernistas e de estética quase sempre limitada. As paredes estruturais faziam parte de obras tanto privadas como públicas, abrangendo diversas funções e tamanhos.

Da mesma forma que as estruturas monolíticas não são as mais viáveis ao nosso tempo, as estruturas isostáticas<sup>1</sup> também não são muito utilizadas em arquiteturas de expressão simbólica. E não mais pela questão de custo, mas agora por sua propriedade estética extremamente limitada. Em alguns casos de obras com grande representatividade estética, parte das estruturas são moveis ou possuem simples apoio por questões funcionais, como por exemplo em sistemas de dimensões tão grandes que se fossem completamente engastados e rígidos sofreriam algum tipo de rompimento ou dano, mas a maior parte destes sistemas não são isostáticos. A teoria de Galileu Galilei para a extinção dos dinossauros explicava bem este problema que ocorre em grandes estruturas; uma vez que um mesmo material, com uma mesma densidade é ampliado em forma e volume diversas vezes, acaba por diminuir sua resistência efetiva, deixando tal elemento mais propenso a rompimentos. Dessa maneira Galileu propunha que os ossos dos dinossauros, compostos de cálcio, não resistiram ao elevado esforço ocasionado pela massa corpórea dos mesmos. Voltando as estruturas isostáticas, hoje elas são mais utilizadas em prédios pré-moldados de concreto, normalmente voltados para o uso industrial e novamente pelo motivo de baixo custo e a alta velocidade na execução.

---

<sup>1</sup> Estruturas Isostáticas - Possui vínculos e engastes estritamente necessários para manter sua estabilidade. Muitas vezes em vigas bi-apoiadas, por exemplo, em apenas uma das extremidades ela é engastada ao pilar, na outra possui simples apoio. As estruturas isostáticas tendem a trabalharem, se movimentarem, com maior liberdade.

No caso das estruturas pré-moldadas de aço, há a necessidade de engaste das peças, acabando por gerar um sistema hiperestático<sup>2</sup>, o que torna o processo mais demorado e mais oneroso do que o pré-moldado de concreto, porém a metálica pré-moldada ainda é a melhor solução em edifícios com mais de vinte e cinco andares, e isso devido diversos fatores; primeiro porque nenhum outro material consegue se portar como o aço e suas propriedades elásticas, depois pela economia de material deste processo construtivo que não exige que sejam feitas formas de madeira, diminuindo assim o desperdício gerado com o concreto armado, e por último porque estes grandes edifícios acabam gerando uma ocupação diversas vezes mais aproveitada de um único lote. Principalmente nos países economicamente mais desenvolvidos, onde o custo da mão-de-obra é elevado, este processo de construção acaba sendo mais vantajoso do que o concreto moldado *'in locu'* não apenas nos edifícios acima de vinte e cinco andares, mas em qualquer edifício que ultrapasse seis pavimentos.

Um processo semelhante de pré-fabricação das peças estruturais é o que permite que as grandes arquiteturas representativas de vanguarda se tornem exequíveis com um menor custo e em maior quantidade, porém se trata de um processo diferente da produção utilizada em escala industrial mais comum nos dias de hoje. Arquitetos como Norman Foster, Frank Gehry e Santiago Calatrava utilizam na execução de suas obras o auxílio de sistemas computadorizados que cortam e dobram as chapas de aço, mesmo as de maior espessura; este é um processo totalmente mecânico, sem a necessidade de manuseio ou arremates posteriores, o que permite que este novo sistema industrial mantenha o custo final da estrutura relativamente baixo e sem maiores perdas em hora-homem ou materiais, o que em sistemas artesanais seria comum. Este processo será melhor explicado adiante.

---

<sup>2</sup> Estrutura Hiperestática – Possui vínculos e engastes em todas as peças de modo a garantir sua total imobilidade. Qualquer tipo de esforço deverá repercutir na estrutura como um todo. Tipo de estrutura que trabalha muito pouco, se mal dimensionada fica mais propensa a rompimentos.

A utilização de sistemas como estes são basicamente o que difere a arquitetura de vanguarda utilizada em grandes edifícios públicos do Brasil da mesma arquitetura produzida hoje na Europa e demais países economicamente desenvolvidos. Não que os custos de produção destes sistemas sejam os mais indicados para qualquer edifício, mas estes projetos de alta tecnologia estão inseridos em uma política de desenvolvimento urbano, conhecida hoje como Planejamento Estratégico<sup>3</sup>. Este princípio fez com que cidades como Bilbao na Espanha, originalmente com sua economia voltada para o porto e a siderurgia se tornasse uma das cidades turísticas mais visitadas do mundo. O conceito de Planejamento Estratégico ilustra um dos incentivos de nosso tempo ao desenvolvimento tecnológico, tecnologia que provavelmente em pouco tempo deverá estar acessível aos demais campos da arquitetura.

De qualquer maneira, onde quer que este processo seja utilizado, é o maior meio incentivador para que os grandes monumentos produzidos hoje se tornem mais plásticos, formalmente inéditos e, no caso em questão, com grandes dimensões. Executados principalmente com o uso do aço, material que atinge praticamente o dobro de resistência em relação ao concreto armado, estes edifícios se tornam cada vez mais impactantes e com peças mais esbeltas.

Independente do sistema estrutural, dos materiais utilizados e da função exercida no interior destes edifícios, o papel da estrutura é suportar todas as cargas aplicadas pela força gravitacional e demais forças exercidas sobre ela. A função de suporte não se resume estritamente ao processo de recebimento de carga, mas de distribuição e transmissão destas, permitindo que o edifício suporte seu peso próprio e mais as sobrecargas aplicadas sobre ele. Entendendo melhor o funcionamento dos materiais escolhidos e facilitando cada vez mais o

---

<sup>3</sup> Planejamento Estratégico – Conjunto de medidas urbanas voltadas para o desenvolvimento e reabilitação de áreas mais degradadas na malha da cidade. Estas medidas, sob uma abordagem inerente ao tema deste trabalho, se apresentam à arquitetura contemporânea em fórmulas mundialmente preestabelecidas de levantamento diagnóstico das áreas e inserção dos chamados signos urbanos, grandes projetos públicos que tenham por objetivo atrair desenvolvimento social e econômico.

caminho das forças, vem sendo possível criar estruturas inéditas com materiais cujas características são conhecidas há séculos como a madeira e o aço.

Segundo Heino Engel, autor do livro 'Sistemas Estruturais', onde trata do desmembramento e definição dos vários tipos de estrutura assim como seu funcionamento prático, a estrutura trabalha em cima de três operações subseqüentes: recepção da carga, transmissão da carga e descarga, um processo que ele chama de fluxo de forças. "O fluxo de forças não apresenta problemas, sempre que a forma do objeto siga a direção das forças atuantes". (ENGEL, 2002, p.25).

Ou seja, quanto mais fluido for o caminho das forças até o ponto de descarga, no solo, menos esforço será aplicado sobre ela, como, por exemplo, o arco romano comparado às vigas bi-apoiadas, onde o primeiro se mostra uma estrutura muito simples e direta, transmitindo as forças de modo contínuo, o segundo necessita de uma tecnologia mais apurada para seu funcionamento; em peças ortogonais há uma mudança brusca de direção que exige muito mais esforço do material. Os sistemas utilizados, assim como as formas das estruturas, definem o caminho das forças, e conforme a escolha do material e seu respectivo funcionamento serão, posteriormente, definidas as dimensões e tipos de engastes deste sistema. Dependendo das dimensões finais do edifício pode-se previamente limitar qual o tipo de material será utilizado. Como veremos adiante, as características mecânicas de cada um é o que deve induzir a escolha final. Certamente o aço é o material de uso mais versátil em qualquer estrutura, servindo para vencer um vão de 3 ou 300 metros, sua composição uniforme e sua característica elástica permite que sejam aplicadas forças em qualquer direção sem uma perda considerável de resistência, exigindo apenas de seus engastes uma resistência equivalente à de suas peças. De uma forma ou de outra, toda vez que a direção da força é interrompida tomando algum outro rumo, isso exige um esforço maior da estrutura, gerando uma redistribuição das forças.

Mudar a direção das forças é então o verdadeiro pré-requisito sob o qual novos quadros de força emergirão... O conhecimento do mecanismo desconhecido para guiar forças a outras direções é o requisito básico para desenvolver novos quadros de força. A teoria sublinhando as possibilidades de como distribuir forças é o núcleo de conhecimento em estruturas e base para uma sistemática em estruturas arquitetônicas. (ENGEL, 2002, p.25)

O estudo das estruturas sempre utilizou as formas da natureza como modelo para seu desenvolvimento, se baseando essencialmente no fluxo de forças e estado de equilíbrio. Esta influência das formas da natureza é fundamental para o estudo de estruturas que trata dos objetos de grande porte, objetos que muitas vezes não podem ser resolvidos de forma direta, com a utilização de vigas ortogonais em concreto armado, por exemplo, as soluções estruturais destes edifícios são decisivas para que eles atinjam um objetivo funcional e estético, sendo o último muitas vezes de peso maior do que a função direta de uso do mesmo. Quando tratamos de signos que devem estar representados na escala urbana, muitas vezes encontramos soluções executivas complexas, mas de formas extremamente simples, o que permite a estes objetos alcançar dimensões significativas.

Neste tipo de arquitetura nota-se muito o uso de estruturas curvas, e isto se deve não apenas ao fato de normalmente se tratarem de monumentos urbanos que, por esta posição, utilizam-se de desenhos pouco empregados nas arquiteturas habituais, mas também pelo fato destas formas propiciarem uma distribuição contínua das forças. Claro que a curva nos projetos se mostra mais atraente ao leitor do que a reta, ou apenas a linha reta, porém para efeitos construtivos a curva sempre foi um fator diretamente ligado ao custo e a dificuldade da obra, o que a tecnologia contemporânea vem amenizando de forma considerável. Quando observamos edifícios como os de Renzo Piano, Calatrava e Niemeyer, automaticamente entendemos o funcionamento geral de suas estruturas, estas que na maioria das vezes estão aparentes; porém a pré-disposição destes arquitetos ao entendimento de suas estruturas certamente não fez por si só com que eles chegassem a tal solução.

Na tentativa de definir os sistemas estruturais, Heino Engel subdivide seu estudo em seis tipos de estruturas: forma-ativa, vetor-ativo, seção-ativa, superfície-ativa, altura-ativa e híbridos. Este desmembramento das estruturas em diversos tipos não apenas auxilia ao entendimento de obras como as mencionadas acima, mas principalmente a entender quais foram as opções utilizadas e por que. Da mesma maneira que o arquiteto pode optar por uma estrutura em aço ou concreto, ou, aço com solda e parafuso e concreto armado ou protendido, pode ser escolhida uma viga vagon ou uma treliça espacial para se vencer determinado vão, e isso se apresenta como soluções que não apenas variam as técnicas executivas com suas vantagens e desvantagens, mas, principalmente, as formas finais do edifício.

Começamos pelo sistema de forma-ativa, sistema este que se apresenta como a maneira mais simples para se vencer grandes vãos sem necessariamente exigir de sua estrutura grande volume de matéria; e justamente por isso se trata do mais econômico para se criar um espaço coberto (fig.1.9). Baseado na utilização de cabos e arcos este sistema tem por princípio seguir os fluxos de força de uma maneira que suas formas finais caminhem junto dos vetores<sup>4</sup>, sendo que neste processo os arcos trabalham as forças de compressão e os cabos as forças de tração.

Este sistema atende bem seu objetivo, criar grandes coberturas, porém está mais vulnerável a deformações diante intempéries. Apesar de se aplicar em diversas situações onde geralmente se exija mais tração à compressão os sistemas de forma-ativa são mais facilmente reconhecidos nas estruturas de cabos e tendas.

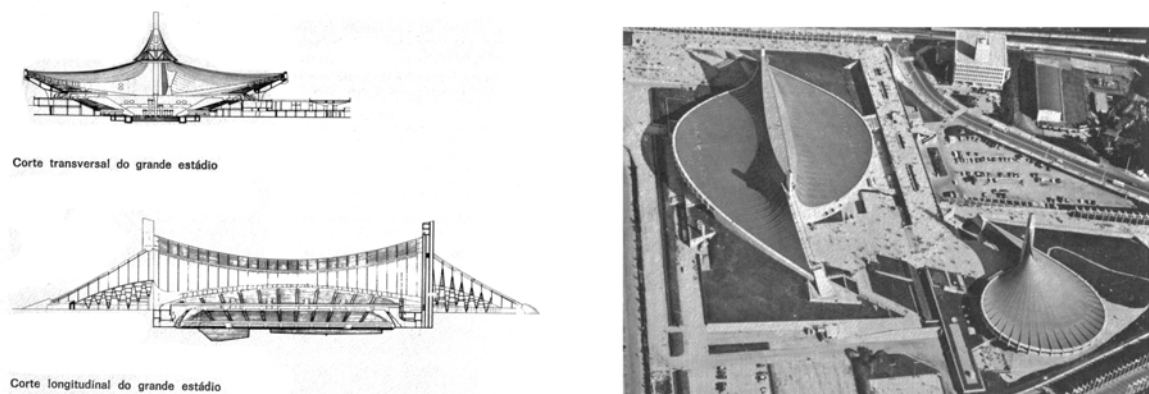
Mas o cabo e o arco, segundo Engel, não são os materiais essenciais para que ocorra um sistema de forma-ativa, as qualidades de forma-ativa podem ocorrer em todos os outros sistemas estruturais, suas características consistem em originar uma forma que segue a tendência 'natural' das forças.

---

<sup>4</sup> Vetores – Segundo Aluizio Fontana Margarida, autor do livro Fundamentos de Estruturas, o conceito de vetor consiste em “grandezas físicas que possuem direção, sentido e intensidade”, ou seja, o mesmo conceito de fluxo de forças porém exposto de forma mensurável.

O conhecimento das leis da redistribuição de forças em forma-ativa é o requisito para o projeto de qualquer sistema estrutural, e por consequência, essencial para o arquiteto ou engenheiro interessado no desenho estrutural. (ENGEL, 2002, p.58)

O complexo esportivo projetado por Kenzo Tange para as olimpíadas de 1964 em Tóquio, no Japão, é um bom exemplo de como as estruturas de forma-ativa podem se inserir em grandes edifícios, a cobertura executada para a piscina possui uma solução onde seus tirantes equilibram e atenuam o peso da arquibancada, amenizando assim as cargas que de outra maneira estariam apenas sobre o concreto.



**Figura 1.1** - Estádio Olímpico de Tóquio - Com um sistema de cabos semelhante ao de uma ponte, a partir de um tirante principal, os tirantes secundários ao mesmo tempo em que suspendem a estrutura de concreto armado suportam a cobertura, formando um sistema híbrido cujo partido estético tem como princípio uma estrutura de forma-ativa.

O segundo sistema exposto é o de vetor-ativo; compostos por pequenos seguimentos em linha reta que, por esta característica, tem a capacidade de transmitirem os esforços normais (tração / compressão) apenas nesta seção, isto lhe confere uma característica que, proporcionalmente, gera um esforço de pequena intensidade para a dimensão destas barras (fig.1.10). Formando uma configuração triangular, esta composição de pequenas barras tem a capacidade de receber e transmitir as forças, de modo assimétrico e variável aos seus extremos com muita eficiência. Tendo em suas extremidades apoios compatíveis aos seus esforços e contendo juntas articuláveis em suas uniões, este sistema forma um mecanismo

capaz de alterar a direção das forças, daí a denominação vetor-ativo; e, por consequência, transmitir cargas a longas distâncias sem apoios intermediários. A característica das estruturas em vetor-ativo é formar peças triangulares que resultam em uma estrutura que pode ser reta ou curva, sendo que esta triangulação pode ocorrer em um mesmo plano ou no espaço, formando pirâmides. O ângulo ideal para uma melhor redistribuição das cargas está entre  $45^\circ$  e  $60^\circ$  com relação à força aplicada.

As treliças são as peças mais comuns no sistema de vetor-ativo, mas, com mencionado por Engel, não as únicas:

Uma vez que a composição e decomposição de forças é basicamente o centro de qualquer transformação físico-mecânica e, conseqüentemente, a essência do projeto de qualquer mecanismo resistente, as bases do mecanismo de vetor-ativo referem-se não somente ao sistema de treliças, mas também a qualquer outra criação de forma que tente mudar a direção das forças com o fim de criar um espaço aberto. (ENGEL, 2002, p.134)

A afirmação de Engel considera, de forma ampla, os sistemas que ele chama de vetor-ativo como qualquer sistema que altera a direção dos vetores, porém, deve-se deixar claro, que isso ocorre quando a composição final de certa peça pode ser claramente desmembrada em pequenas barras ortogonais, não fugindo do conceito inicial de vetor-ativo. Mais adiante, o autor coloca que qualquer peça que atinja dimensões incapazes de suportar seu peso próprio pode ser fragmentada e produzida em cima de um sistema de vetor-ativo, como uma viga ‘Vierendel’ por exemplo.

A viga Vierendel é utilizada em casos aonde o vão a ser vencido por uma viga comum exigiria uma altura da seção que a tornaria pesada demais para seu funcionamento, portanto não capaz de suportar seu próprio peso, a solução neste caso é retirar toda a matéria de seus pontos neutros, locais que não possuem função estrutural, resultando assim em uma peça com furos ao longo de seu eixo longitudinal.



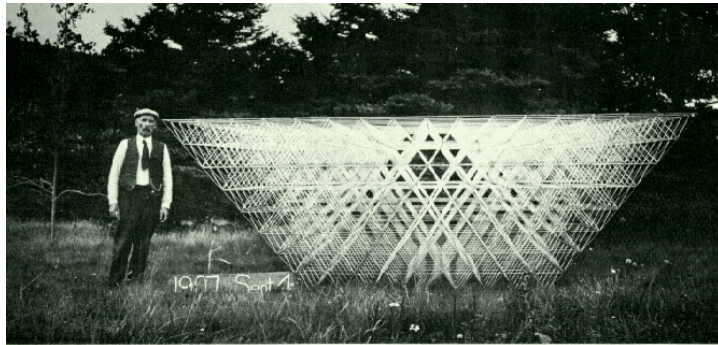


**Figura 1.2** - Hospital Sarah Kubitschek, Brasília (1980) - Neste hospital o arquiteto João Filgueiras Lima utilizou grandes vigas tipo Vierendeel como partido tanto estrutural como funcional, utilizando os vãos da viga para iluminação e ventilação, sua solução aliou muito bem o programa a custo e estética.

Da mesma forma, este conceito pode ser aplicado em lajes ou pilares que tenham problemas semelhantes. O sistema de contraventamento utilizados em estruturas metálicas é mais um exemplo de como este processo que visa redistribuir as forças ao longo de uma peça hiperestática pode funcionar sem necessariamente ser uma treliça. Para a execução de arranha-céus o sistema de vetor-ativo se tornou uma solução imprescindível.

Apesar de sua utilização em peças de concreto armado ser muito útil, pode se dizer que este sistema foi provavelmente criado por Alexander Graham Bell, em 1907, com a utilização de elementos pré-fabricados de metal montados em um canteiro. Graham Bell, em um sistema de tetraedros, criou a primeira estrutura em que fundamenta o conceito de vetor ativo, mas devido a problemas nas conexões e nos cálculos desta estrutura, ela só se consagrou e difundiu a partir dos anos 50, com Richard Buckminster Fuller, arquiteto que se dedicou à criação de estruturas cujo custo fosse o menor possível atingindo a melhor eficiência estrutural. Seu estudo resultou nas estruturas geodésicas, solução que lhe conferiu muitas condecorações e certamente contribuiu muito para o entendimento e a inovação das

soluções estruturais na arquitetura moderna. Com propriedades muito semelhantes à de ligações químicas, as estruturas geodésicas se portam de maneira extremamente funcional atingindo a maior resistência com o menor peso até hoje encontrado em estruturas espaciais.



**Figura 1.3** - A. G. Bell. - O sistema de vetor-ativo de Graham Bell apesar de problemas executivos já continha o princípio de fragmentar a estrutura em diversas peças a fim de aumentar a resistência efetiva de cada parte e portanto de todo o conjunto.



**Figura 1.4** - Pavilhão Norte-Americano da Exposição Mundial de 1967 - Com a Geodésica, Buckminster Fuller aprimorou e difundiu o conceito de vetor-ativo. Com estudos aprofundados sobre sinérgica, nome dado ao seu estudo de dinâmica estrutural, Fuller conseguiu desenvolver de maneira definitiva os processos produtivos e executivos das treliças espaciais.

Por seu caráter extremamente técnico o sistema de vetor-ativo representa uma solução ímpar na execução de estruturas, vencer grandes vãos com poucos apoios e quantidade mínima de matéria, certamente coloca este sistema como um dos mais multifuncionais e

econômicos dentro da arquitetura, porém, ao mesmo tempo em que se mostrou revolucionário, suas formas devem seguir regras rígidas para que seu funcionamento atinja os objetivos propostos, fazendo com que o resultado ou seja incorporado à arquitetura como um partido estético ou se mostre como uma solução puramente técnica.

Dando seqüência aos estudos de Engel, os sistemas de seção-ativa são aqueles empregados em estruturas ortogonais e na maioria das vezes com engastes entre vigas e pilares, compostos por elementos lineares retos e fixos (fig.1.11). Estes elementos de formas rígidas compõem um espaço geométrico retangular, por isso bem aproveitado. As forças nestas peças percorrem a matéria de forma ortogonal; sempre há mudanças de direção dos vetores em  $90^\circ$ .

Apesar de seus esforços caminharem de maneira simples, mesmo assim exigindo um desvio violento dos vetores nas extremidades, a redistribuição das cargas ao longo da viga pode variar consideravelmente em seu percurso. As forças aplicadas de maneira vertical na viga provocam um esforço de cisalhamento, uma força cortante, não mencionada nos outros sistemas mas não menos importante para seus desempenhos, que exige da matéria uma resistência maior a tração do que a compressão. Enquanto o pilar, ao receber as cargas quase que exclusivamente no sentido vertical, possui vetores percorrendo o eixo longitudinal da peça, trabalhando assim mais a compressão do que a tração.

Na viga, esta força de cisalhamento gera uma necessidade de maior resistência à tração, localizada principalmente na parte inferior de sua seção, estando o esforço de compressão na parte superior. Isso ocorre devido a maior parte das forças, geralmente, se encontrarem no eixo vertical e de forma relativamente perpendicular, ocasionando na viga uma flexão. Invariavelmente as vigas executadas no sistema de seção-ativa sofrerão flexão em algum ponto, seja ela bi-apoiada, em balanço ou com apenas um ponto de apoio. Muito embora toda viga também possua um ponto neutro entre este ciclo de esforços internos. No

caso dos pilares os esforços de tração não terão uma presença marcante como na viga, eles sofrerão muito mais esforços ligados a compressão do que a tração, não excluindo a existência de alguma tração nos seus esforços. Os pilares de seção circular distribuem melhor as forças de tração podendo ser muitas vezes de menor dimensão do que um pilar retangular sob a ação de uma mesma força, mas esta escolha deve levar em consideração muitos outros fatores como custo de execução, estética e funcionalidade.

O ponto mais relevante a se considerar neste tipo de estrutura são os esforços desiguais ao longo da viga, quanto mais longe do ponto de apoio estiver a aplicação da carga, maior será o esforço da viga. Esta propriedade física é chamada de momento, quanto mais distante a aplicação da carga maior o momento fletor. Para amenizar este problema podem-se adotar vigas sem uma seção igual ao longo de sua forma. Ou seja, executar uma viga que forma espaços vazios em seu interior, com uma maior altura em sua seção, com isso a viga poderá vencer um vão relativamente maior do que uma viga com sua massa formada por um único bloco. Apesar de a viga poder ser formada por espaços internos vazios, deverá, necessariamente, haver centros rígidos localizados ao longo de seu corpo, diminuindo a intensidade das forças de tração ao longo da viga até sua base. Um sistema semelhante a este foi executado no Museu de Arte de São Paulo, onde caixas vazias ao longo da viga diminuem seu peso próprio e ainda mantêm suas características vetoriais de compressão, tração e cisalhamento. Porém, para que a viga atingisse tal resistência, foram usados sistemas de protensão que permitiram que esta obra, projetada por Lina Bo Bardi e concluída em 1947, possuísse um extraordinário vão-livre de 70 metros, mais uma vez levantando questões a respeito dos dogmas estéticos modernistas.

Apesar do sistema de seção-ativa possuir características de funcionamento relativamente simples, suas aplicações práticas podem se desmembrar em uma série de soluções mais complexas do que uma viga bi-apoiada, como lajes estruturais, malhas de

vigas, pórticos e todas as suas demais variáveis. Em sua maioria estas estruturas são executadas em concreto armado, pois este é o material que permite o melhor engaste entre as peças, fundindo completamente as vigas lajes e pilares, além de permitir a execução e o pré-dimensionamento de maneira muito simples. Estas características técnicas aliada a uma infinita possibilidade de variação estética, principalmente na composição de volumes ortogonais, fizeram deste sistema o mais utilizado em arquiteturas modernistas.



**Figura 1.5** - MASP – Com uma proposta mais ousada do que a arquitetura executada em sua época, 1947, o Museu de Arte de São Paulo utiliza diversas tecnologias para aliar uma linha modernista, típica nas estruturas de seção-ativa, a uma estética desafiadora muito usual em monumentos contemporâneos.

Também muito executados em concreto armado e utilizados em uma fase transitória do modernismo para o pós-modernismo, os sistemas de superfície-ativa, delimitando claramente o espaço interno como apresentado pelo lado externo, se baseiam na utilização de cascas e superfícies contínuas para formar sua estrutura (fig.1.12).

Devido sua grande liberdade formal, podendo ser representada livremente no espaço e sem se portar como apenas um revestimento, eliminando assim, em muitos casos, a necessidade de uma superestrutura, as estruturas formadas por uma vedação ao mesmo tempo portadora de cargas tem a capacidade de se projetar em qualquer direção sendo apenas

cuidadosa com relação às mudanças de vetores. Constantemente reorientando as cargas, as superfícies-ativas devem ser antecipadamente pensadas para receber todos os tipos de forças: compressão, tração e cisalhamento.

Este tipo de estrutura, por se estender ao longo de grandes áreas, dificilmente se apresenta em um plano horizontal paralelo ao chão, isso exigiria um volume de material inviável para manter a superfície como estrutura, dando assim uma característica formal longe da ortogonalidade sugerida pelo movimento moderno. Isto ocorre porque o funcionamento destas cascas se desenvolve com muito mais eficiência quando paralela a força atuante, na maioria dos casos a gravitacional, sendo comum então, suas coberturas serem formadas por arcos ou seqüências de arcos consecutivos, formando, nos casos mais complexos, um efeito visual plástico e muito orgânico. Mas esta não é a única maneira de se transmitir com qualidade as cargas da superfície horizontal para a vertical, estruturas planas dispostas em eixos inclinados e contendo dobras ou vincos para enrijecer seus engastes são mais uma solução para se produzir este tipo de estrutura. Uma forma adequada é fundamental para o funcionamento de uma superfície-ativa.

Um exemplo claro e harmonioso de como funcionam as estruturas de superfície ativa, é o terminal de passageiros da TWA em Nova York. Construído em 1962 e projetado por Eero Saarinen, arquiteto natural de Helsinki, Finlândia, e cuja experiência adquirida em um curso de esculturas em Paris e arquitetura na universidade de Yale, atingiu seu cume neste edifício que se consagrou como mais uma referência mundial de obras que se posicionavam a parte do movimento moderno.

Apesar de serem muito representativas, estas estruturas, sempre limitadas ao concreto armado, não têm a possibilidade de atingir facilmente grandes dimensões (veremos melhor o exemplo desta dificuldade no capítulo 4.4), sendo mais comum a utilização de formas semelhantes a estas nos monumentos contemporâneos, mas, com o intuito de atingir melhores

resultados construtivos, utilizando estruturas auxiliares, não sendo portanto consideradas um sistema de superfície-ativa, porém contendo um aspecto morfológico descendente deste sistema.



**Figura 1.6** - Terminal TWA, Aeroporto JFK, Nova York. – Estrutura executada em um sistema de superfície-ativa que representa muito bem quão plástico e funcional pode ser a utilização do concreto armado. A distribuição suave das cargas através das estruturas curvas possibilita melhor trabalho do fluxo de forças em sua descarga no solo e conseqüentemente possibilitam uma estética mais aprimorada e um programa melhor resolvido da arquitetura.

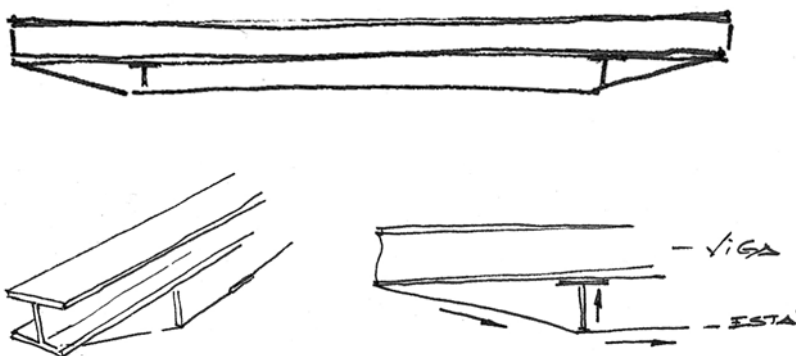
O quinto sistema descrito por Engel, o de altura-ativa, conceitua um tipo de estrutura que não se aplica diretamente ao tema deste trabalho, porém, por se tratar do único dos sistemas que não nos evidencia maiores interesses, será rapidamente mencionado para que não haja um fornecimento incompleto dos dados coletados. As estruturas de altura-ativa são única e exclusivamente aplicadas em arranha-céus, com características que se baseiam em transmitir cargas horizontais ao solo, seu conceito pode englobar mecanismos dos sistemas de forma-ativa, vetor-ativo, seção-ativa ou superfície-ativa, não possuindo portanto mecanismos de trabalho próprio.

Os planos horizontais sucessivos e sobrepostos são característica marcante deste sistema, e são exatamente neste elemento estrutural, as lajes planas, que o estudo deste sistema pode nos acrescentar algo. Na tentativa de se vencer o maior vão possível sem que haja a obstrução do espaço por pilares, as lajes destes edifícios podem possuir formas

específicas, que se enquadram no sistema de seção-ativa, como triângulos, hexágonos ou octógonos, que ao formarem uma malha de vigotas podem suportar a camada superior plana vencendo grandes vãos sem necessitar de grandes alturas.

Por último Engel expõe o funcionamento dos sistemas híbridos, que nada mais seria do que a união de dois ou mais sistemas formando este por fim. Porém o simples fato de se utilizar dois sistemas estruturais diferentes em um mesmo edifício não faz com que este seja denominado híbrido, para que isso ocorra necessariamente todas as partes integrantes da estrutura devem possuir uma função de relevância no fluxo das cargas, ou seja, todas as peças devem ser interdependentes e essenciais para o funcionamento do conjunto.

Os sistemas híbridos, de fato, não constituem uma ‘família’ de estruturas, não possuem características próprias a seu funcionamento. Este sistema não se classifica pelas formas de suas estruturas ou redistribuição categórica das forças, mas sim por um comportamento específico resultante da união de várias peças e sistemas. Os sistemas híbridos mais comuns são representados com a utilização de vigas lineares de seção-ativa ou vetor-ativo com estruturas de cabos, o exemplo mais típico deste é a chamada ‘viga vagão’.



**Figura 1.7** – Viga-vagão – Sistema que através de um estai locado na parte inferior da viga gera um vetor contrário à força de gravidade. Esta viga consegue vencer grandes vãos com altura e peso extremamente reduzidos com relação às demais.



A utilização de cabos nas estruturas, apesar de exigir manutenção constante, apresenta um bom resultado tanto de maneira econômica quanto estética; a função de tração das peças, quando desmembrada e aplicada nos cabos, se mostra esbelta e eficiente. Segundo o autor projetar em cima de sistemas híbridos é se preocupar essencialmente com uma identidade mecânica e estética e ao mesmo tempo “aproveitar as relações sinérgicas entre os sistemas de famílias”. (ENGEL, 2002, p.320)

O projeto de sistemas híbridos exige conhecimento de todos os demais sistemas e mais do que isso uma perfeita visualização dos fluxos de força. Utilizado geralmente em edifícios que exigem maior desempenho da estrutura, com grandes vãos, volumetrias complexas ou esforços extremos, muitas vezes os sistemas híbridos, apesar de resultarem em estruturas visualmente dinâmicas, se tratam de soluções muito simples quanto à distribuição das cargas; e ao mesmo tempo em que o caminho das forças é facilitado as dimensões das peças se tornam mais esbeltas e as do edifício mais monumentais.



**Figura 1.8** - Estádio de Jeju, Coréia (2001) - Com formas representativas da cultura local, lembrando as atividades pesqueiras, vulcões e as estruturas residenciais em madeira entrelaçada, este estádio segue as tendências contemporâneas de ecletismo aliado a símbolos subliminares utilizando como estrutura de sua cobertura sistemas de forma-ativa, vetor-ativo e superfície-ativa.

De todos os tipos apresentados, apesar de não possuírem características exclusivas, certamente os sistemas híbridos compõem as estruturas mais representativas da arquitetura monumental contemporânea; arquitetura cujo apelo estético é fundamental e, mesmo quando cobertas ou escondidas, é mais através de estruturas complexas do que convencionais que este padrão estético atinge seus objetivos.

O perfeito entendimento das funções estruturais assim como as características técnicas dos materiais e conexões utilizados, faz parte do repertório de qualquer arquiteto que busca diferenciação estética e funcional em seus edifícios. Dentro da arquitetura pós-moderna, não necessariamente monumental ou que possua suas estruturas expostas, mas qualquer arquitetura inovadora que se insira nas tendências contemporâneas, a busca de uma solução estrutural particular revela não apenas uma necessidade de afirmação deste estilo, mas acima de tudo uma busca de qualidade espacial. Como veremos adiante, o espaço comum contemporâneo, em função das novas técnicas de comunicação e demais rumos mercadológicos, se limitou muito mais a vários locais privados do que poucos públicos, fazendo da dinâmica espacial um meio de fuga e diferenciação destes ambientes.

Com o intuito de avaliar e desmembrar as estruturas de grandes edifícios pós-modernos, utilizaremos as técnicas estruturais descritas acima para apresentar com maior propriedade o funcionamento de alguns dos edifícios que se tornaram signos referenciais dentro de grandes cidades com seus respectivos estilos e técnicas.



Sistema estrutural / Sistema de estruturas		Material principal	Matéria prima	Luz em metros / Vão em metros																		
				0	5	10	15	20	25	30	40	50	60	80	100	150	200	250	300	400	500	
Cerchas planas 2.1 Treliças planas		madera metal (acero)	madeira metal (aço)			8	10	15	20	25	30	40										
		madera metal (acero)	madeira metal (aço)			10		15	20	25	30	40	50									
		madera metal (acero)	madeira metal (aço)			6	10	12	15	20	25	30	40									
Cerchas planas combinadas 2.2 Treliças planas combinadas		madera metal (acero)	madeira metal (aço)			15	15	20	25	30	40	50	60	80	100	120						
		madera metal (acero)	madeira metal (aço)			8	10	12	15	20	25	30	40	50	60	80						
		madera metal (acero)	madeira metal (aço)			8	10	12	15	20	25	30	40	50	60	80						
Cerchas curvas 2.3 Treliças curvas		madera metal (acero)	madeira metal (aço)			8	10	12	15	20	25	30	40	50	60	80						
		madera metal (acero)	madeira metal (aço)			8	10	12	15	20	25	30	40	50	60	80						
		madera metal (acero)	madeira metal (aço)			20	20	25	30	40	50	60	70	80	100	120	150	200	300	500		
Mallas espaciales 2.4 Treliças espaciais		madera metal (acero)	madeira metal (aço)			8	6	15	20	25	30	40	50	60	80	100	150					
		madera metal (acero)	madeira metal (aço)			8	6	15	20	25	30	40	50	60	80	100	150					
		madera metal (acero)	madeira metal (aço)			15	15	20	25	30	40	50	60	70	80	100	150					

Figura 1.10 - Vetor-ativo – Tabela referencial de aplicação prática e vãos vencidos por este sistema.

Sistema estrutural / Sistema de estruturas		Material básico	Matéria prima	Luz em metros / Vãos em metros																		
				0	5	10	15	20	25	30	40	50	60	80	100	150	200	250	300	400	500	
Estruturas de VIGAS		madera metal (acero) hormigón armado	madeira metal (aço) concreto armado	4	8	12																
		madera laminada metal (acero) hormigón armado	madeira laminada metal (aço) concreto protendido	5	7	20	25															
		madera metal (acero) hormigón armado	madeira metal (aço) concreto armado	4	8	12																
Sistemas de VIGAS		madera laminada metal (acero) hormigón armado	madeira laminada metal (aço) concreto protendido	7	10	20	25	30														
		madera metal (acero) hormigón armado	madeira metal (aço) concreto armado	5	7	20	25															
		madera metal (acero) hormigón armado	madeira metal (aço) concreto armado	4	8	12																
Estruturas de PÓRTICOS		madera laminada metal (acero) hormigón armado	madeira laminada metal (aço) concreto armado	10	15	40	50															
		madera laminada metal (acero) hormigón armado	madeira laminada metal (aço) concreto armado	10	15	45	65															
		madera laminada metal (acero) hormigón armado	madeira laminada metal (aço) concreto armado	8	10	25	35															
Estruturas de RETÍCULA DE VIGAS		madera laminada metal (acero) hormigón armado	madeira laminada metal (aço) concreto armado	10	12	25	30															
		madera laminada metal (acero) hormigón armado	madeira laminada metal (aço) concreto armado	10	15	30	35															
		madera laminada hormigón armado	madeira laminada concreto armado	8	10	20	25															
Sistemas de MALHA DE VIGAS		madera laminada hormigón armado	madeira laminada concreto armado	8	10	20	25															
		madera laminada hormigón armado	madeira laminada concreto armado	5	8	15	18															
		madera laminada hormigón armado	madeira laminada concreto armado	5	8	15	18															
Estruturas de LOSAS		madera (tablones) hormigón armado	pranchas de madeira concreto armado	5	8																	
		hormigón armado	concreto armado	5	7	15	20															
		hormigón armado	concreto armado	8	11	13	12															

Figura 1.11 – Seção-ativa – Tabela referencial de aplicação prática e vãos vencidos por este sistema.

Sistema estructural / Sistema estrutural		Material básico	Matéria prima	Luces en metros / Vãos em metros																			
				0	5	10	15	20	25	30	40	50	60	80	100	150	200	250	300	400	500		
Estructuras de LÁMINAS  4.1  Sistemas de PLACA		hormigón armado madera	concreto armado madeira			5	10	15	20	25	30	40	50										
		hormigón armado madera	concreto armado madeira			5	10	15	20	25	30	40	50	60									
		hormigón armado madera	concreto armado madeira			5	10	15	20	25	30	40	50	60									
Estructuras de LÁMINAS PLEGADAS  4.2  Sistemas de PLACAS DOBRADAS		hormigón armado madera	concreto armado madeira			10	15	20	25	30	40	50	60										
		hormigón armado madera	concreto armado madeira			20	25	30	40	50	60	70	80	100	150	200							
		hormigón armado madera	concreto armado madeira			15	20	25	30	40	50	60	70	80	100	150	200						
		hormigón armado madera	concreto armado madeira			10	15	20	25	30	40	50	60	70	80	100	150	200					
Estructuras de MEMBRANAS  4.3  Sistemas de CASCA		hormigón armado	concreto armado			10	15	20	25	30	40	50	60	70	80	100	150	200					
		hormigón armado	concreto armado			20	25	30	40	50	60	70	80	100	150	200							
		hormigón armado	concreto armado			15	20	25	30	40	50	60	70	80	100	150	200						
		hormigón armado madera	concreto armado madeira			15	20	25	30	40	50	60	70	80	100	150	200						
		hormigón armado	concreto armado			20	25	30	40	50	60	70	80	100	150	200							

Figura 1.12 - Superfície-ativa – Tabela referencial de aplicação prática e vãos vencidos por este sistema.



Este capítulo, dando seqüência ao estudo dos sistemas estruturais, pretende ampliar o conhecimento sobre os dois materiais mais utilizados na arquitetura contemporânea de grande porte, o aço e concreto. Como mencionado anteriormente, este último vem gradativamente perdendo espaço para o aço nas construções pós-modernas. Muitos fatores estão tornando cada vez mais desfavorável a utilização do concreto em obras de grande porte, dentre eles: tempo de execução das obras, o que muitas vezes influi no custo e resistência mecânica e complicações durante o processo construtivo, exigindo assim um maior número de profissionais envolvidos e tornando a obra mais suscetível á erros humanos. Apesar de estar se tornando uma opção secundária, o concreto foi de importância ímpar para formação plástica de obras com teor escultórico, e até hoje seu efeito de acabamento final não pode ser comparado com o do aço, sendo, provavelmente, muitas vezes descartado das estruturas principais apenas pela funcionalidade construtiva, não por uma opção estética.



## **2.1 – Concreto: História, Tipos e Propriedades**

---

Como mencionado acima o concreto foi de fundamental importância para o desenvolvimento do estilo moderno na história da arquitetura, e este material, não inicialmente, mas ao longo dos anos, teve no Brasil um terreno muito fértil ao seu profundo conhecimento, gerando técnicas e profissionais mundialmente reconhecidos em trabalhos de infra-estrutura, como barragens, oleodutos e pontes entre outros. Áreas que exigem conhecimento na utilização de grandes volumes de material e portanto técnicas incomuns.

Em um trabalho dedicado a história do concreto, Augusto Carlos de Vasconcelos inicialmente menciona quão importante se fazem as condições periféricas como: falta de recursos locais, técnicos e econômicos à aplicação empírica de grandes idéias:

Muitas vezes a competição, a vaidade, o orgulho de dirigentes poderosos podem forçar realizações que permitam a execução. As pirâmides do Egito constituem um caso típico e só puderam existir no período antigo (3<sup>a</sup> até 6<sup>a</sup> dinastia, entre 2700 e 2200 a.C.) onde a escravidão e as condições sócio-econômicas da época permitiram tais obras. [...] Muito mais tarde, a Revolução Industrial, como é denominada toda a conjuntura sócio-econômica surgida, primeiro com a descoberta de um processo prático para produção do ferro em larga escala a partir do carvão mineral (Abraham Darby, Inglaterra 1709) e depois outro processo industrial capaz de ‘produzir artificialmente a pedra de Portland’, desenvolvida na Escócia (Joseph Aspdin, 1824) permitiu ao homem usar a máquina como sua substituta.(VASCONCELOS, 1992, p.07)

Assim como o concreto aparente utilizado pelos modernistas sofreu grande repulsa inicial, Vasconcelos coloca que as estruturas semitransparentes, feitas em ferro e vidro, também não foram vistas com bons olhos pela população, mas, no segundo caso, as vantagens construtivas eram enormes, economia, padronização, pré-fabricação, grandes vãos, grande capacidade de carga e sobretudo grande velocidade na execução. Porém o ferro possuía desvantagens com relação à alvenaria produzida até então: durabilidade, conservação, aspecto e textura. Assim, sendo desenvolvido o cimento, palavra originada do latim “*cementum*”, uma espécie de rocha natural romana; parecia muito natural se fazer a fusão destes dois materiais. Utilizar a grande resistência do primeiro com as vantagens consolidadas da alvenaria. O emprego em conjunto destes dois materiais já havia ocorrido em forma de tirantes em, alguns

monumentos públicos romanos, porém a primeira obra a utilizar o concreto armado como conhecido hoje, provavelmente tenha sido na França em 1849, não sendo citada pelo autor nenhuma obra específica. A idéia de se misturar barras metálicas a argamassa ou pedra é datada por Vasconcelos desde os períodos romanos, onde durante a recuperação das ruínas de uma terma, em Caracalla, Roma, notou-se a existência de barras de bronze dentro de uma argamassa composta de pozzolana, gerando vãos maiores do que os comuns a este material.

Após a criação de indústrias que produzissem o chamado Cimento Portland, em 1855, na Alemanha, a primeira utilização pública designada cimento armado foi em 1920 com o engenheiro francês Joseph Louis Lambot. Presume-se que suas experiências tenham se iniciado por volta de 1854 e suas primeiras produções se tratavam de barcos cuja uma fina malha de ferragens recoberta por cimento substituía com muito mais qualidade a madeira que constantemente se deteriorava. Expondo suas experiências em uma feira internacional seu trabalho, inicialmente não chamou a atenção nem de pessoas ligadas à produção naval nem tanto da construção civil, mas sim de um produtor de mudas cujo problema da umidade também afetava seus vasos de madeira. Joseph Monier, paisagista e horticultor, não estava em nada ligado à invenção do então cimento armado, mas por sua abordagem extremamente simples e de grande divulgação, a de um comerciante que vendia peças produzidas por si mesmo, Joseph acabou sendo considerado pela enciclopédia britânica como o inventor de fato do primeiro sistema de concreto armado, um erro que Vasconcelos se empenha em esclarecer.

Nesta nova fase de experimentação e conhecimento do concreto foi justamente um advogado, Thadeus Hyatt, ‘dotado de grande capacidade inventiva’, que livre de maiores buscas técnicas se propôs a entender como empiricamente se portava tal material e as conclusões de seus ensaios que começaram por volta de 1850, mas foram publicados apenas em 1877, são as seguintes:

- 1- O concreto deve ser considerado como um material de construção resistente ao fogo.
  - 2- Para que a resistência ao fogo seja garantida, o ferro deve estar totalmente envolvido pelo concreto
  - 3- O funcionamento em conjunto do concreto com o ferro chato ou redondo é perfeito e constitui uma solução mais econômica do que com o uso de perfis como armadura.
  - 4- O coeficiente de dilatação térmica dos dois materiais é suficientemente igual
  - 5- A relação dos módulos de elasticidade deve ser adotada igual a 20.
  - 6- Concreto com o ferro do lado tracionado presta-se não somente para estruturas de edificações como também para construção de abrigos.
- (VASCONCELOS, 1992, p.11 apud HYATT)

Conclusões semelhantes, provavelmente sem prévio conhecimento, foram alcançadas muito tempo depois também por franceses e alemães. Mas a expansão do concreto armado pelo mundo se deu de fato pelo engenheiro alemão Gustavo Adolpho Wayss, que tendo adquirido o direito de reproduzir o sistema patenteado por duas empresas alemãs, se dedicou a produzir diversos ensaios para demonstrar através de provas de carga as imensas vantagens do novo sistema. Sistema que ainda era visto com suspeita e desconfiança. Após diversas experiências com corpos de cargas o engenheiro responsável Mathias Koenen chegou à conclusão prática de que a função das barras de ferro era absorver os esforços relacionados à tração enquanto que o próprio concreto se encarregava de resistir às compressões.

No Brasil, a inserção do concreto armado encontrou grandes vantagens na questão da mão-de-obra. Uma vez que proveniente da revolução industrial, este sistema era executado de forma muito mais onerosa no território europeu e americano, onde o processo exigia uma série de máquinas como betoneiras, vibradores, bombas lançadoras, e demais maquinários, o que aqui foram facilmente substituídos pela força do homem.

Segundo Vasconcelos, a tecnologia do concreto no Brasil se concretizou de maneira empírica e certas vezes problemática. A necessidade de aplicação deste sistema ao longo do século XX, nas mais diversas áreas da construção, ocorreu de maneira ampla por todo o mundo; não havia nada que substituísse com qualidade as propriedades do concreto armado.

O início da normatização desta tecnologia no Brasil se deu com a criação do então Gabinete de Resistência dos Materiais da Escola Politécnica de São Paulo, 1899. Um embrião do que se tornaria o IPT, Instituto de Pesquisas Tecnológicas. A partir daí foram feitos os primeiros ensaios de resistência dos diferentes tipos de materiais aplicados na construção. Em um segundo período, a partir de 1920 aproximadamente, o IPT já possuía três grupos de trabalho: aglomerantes e concretos, metais, e madeiras; já havia então cimentos de fabricação nacional e as obras de concreto armado tinham atuação de grandes empresas estrangeiras catalisando assim o processo de adaptação de todas as técnicas ao Brasil. Mas foi em 1961, com os estudos de Francisco de Assis Basílio, que a tecnologia do concreto foi de fato teorizada, sua obra classificava o concreto em três níveis de responsabilidade tecnológica:

**“1º Grupo:** Obras de concreto simples ou armado, em que o engenheiro necessita apenas conhecer o que denominou ‘tecnologia básica do concreto’; esta compreende o conhecimento dos materiais, as propriedades do concreto fresco e endurecido, o grau de exposição aos agentes agressivos, os diversos métodos de dosagem e o controle de qualidade;

**2º Grupo:** Obras de concreto simples, armado ou protendido em que o engenheiro necessita conhecer a ‘tecnologia avançada do concreto’; além dos conhecimentos relativos ao 1º grupo há necessidade de conhecer os materiais com maior profundidade, a evolução térmica do concreto (calor de hidratação, calor específico, condutibilidade e difusão térmica, coeficiente de dilatação), a retração a fluência, a permeabilidade, a dosagem segundo critérios avançados, controle e garantia de qualidade segundo normas brasileiras e de outros países

**3º Grupo:** compreende as obras que necessitam possuir impermeabilidade à água sob pressões elevadas (mais do que 10 atm) sendo necessários conhecimentos do que Basílio denominou de ‘tecnologia de ponta’. Esta está vinculada a pesquisas em nível tecnológico e científico, sendo necessários em geral, conhecimentos mais profundos do que no segundo grupo: permeabilidade aos gases em alta e baixa pressão, permeabilidade as radiações nucleares, efeitos térmicos acima de 100 °C, corrosão eletroquímica, técnicas de pesquisa de dosagem de concreto, controle e garantia de qualidade com especificações, métodos de ensaios e manuais de procedimento. (VASCONCELOS, 1992, p.54 apud BASÍLIO)

Basílio separa esta evolução tecnológica nos respectivos períodos: anterior a 1930, com a execução de muitas obras, até mesmo barragens, com concreto dosado empiricamente e de qualidade bastante reduzida; de 1930 a 1958, onde a tecnologia básica foi largamente

empregada de maneira generalizada, elevando o concreto e despejando por calhas, exigindo assim, um concreto mais fluido e portanto de qualidade reduzida; e partir de 1958, com a construção da Barragem do Funil, Rio Paraíba do Sul, onde engenheiros estrangeiros difundiram uma tecnologia mais avançada no Brasil.

Esta graduação técnica do concreto elucida o quão além das qualidades estruturais relativas a edifícios habitáveis o concreto pode atingir. A descoberta e o desenvolvimento deste material se mostrou um grande passo na história da construção, e deve-se salientar que quando tratamos de edifícios públicos cuja opção estrutural não é o concreto, diversas vezes isso ocorre por questões meramente práticas não tecnológicas, ou seja, existe hoje a capacidade de se vencer grandes vãos com o concreto, o que não existe são maneiras tão eficientes de fazê-lo.

Vasconcelos, que foi introdutor do curso extracurricular de concreto protendido no Brasil em 1956, até o surgimento do concreto protendido, as peças de aço possuíam grande vantagem na construção civil justamente devido sua possibilidade de ser fabricada na usina e colocada em obra apenas para a montagem, o que posteriormente, no caso do concreto protendido, também se tornou possível e até mais viável uma vez que as peças poderiam ser produzidas com maior rigor de qualidade na indústria. Podiam ser produzidos pilares, vigas, lajes, painéis de vedação e até blocos de fundação; peças que possuíam a vantagem de vencer grandes vãos com seções muito menores do que o concreto armado, e que estando mesmo sob o carregamento máximo não apresentavam fissuras. O concreto armado também pôde ser produzido em usinas, porém suas vantagens não chegavam perto da tecnologia do aço para a pré-fabricação.

O primeiro sistema de concreto protendido para estruturas fabricado no Brasil era o 'Sistema Freyssinet', onde eram utilizadas balizas internas a peça de concreto e apenas após a cura do material que se protendiam os cabos. A injeção de concreto dentro das bainhas se

dava apenas para proteção das cordoalhas de aço, não aderindo propriamente o aço ao concreto. Tratava-se de um sistema precário e de difícil execução; sistema que ficou conhecido como pós-tração. O sistema de peças pré-tencionadas foi introduzido no Brasil pelo próprio Vasconcelos, sendo inicialmente testado em estacas de fundações. Peças essas que necessitavam do aço apenas para seu transporte e manuseio. Isto ocorreu até que fosse comprovada a segurança de não escorregamento dos cabos protendidos, e no fim seu sistema funcionou superando os padrões alemães, local onde Vasconcelos mantinha estreito contato com profissionais e tecnologias desenvolvidas.

Os estudos apresentados até agora não levam em consideração a aplicação de aditivos como resinas, sílicas e demais produtos que, hoje com muito mais precisão, conseguem elevar os níveis de resistência do concreto, principalmente à compressão, a valores próximos de um aço carbono com média resistência.

O Concreto de Alto Desempenho (CAD), obtido na Noruega na década de 50 e introduzido no Brasil na década posterior, possui características técnicas que vão além das capacidades do concreto comum, não apenas no quesito resistência mecânica como também durabilidade. O grande problema causador da deterioração do concreto comum é sua porosidade, uma vez que este material se porta de maneira permeável à água e aos gases, as reações químicas decorrentes desta infiltração acabam por condenar qualquer estrutura que esteja exposta sem tratamentos periódicos. No caso do CAD, uma vez que sua densidade é maior, sua exposição a agentes agressivos se torna muito reduzida, podendo ser aplicado em situações adversas sem maiores problemas, e mais importante do que isso, buscando uma análise voltada ao tema explorado aqui, seus valores de resistência mecânica são exponencialmente elevados.

A designação do CAD é avaliada segundo os níveis de resistência do material; enquanto os concretos comuns, aplicados de maneira ordinária, possuem faixas de resistência

em torno de 18 a 21 Mpa<sup>1</sup>, o CAD classe I possui resistência entre 50 e 75 Mpa; classe II, entre 75 e 100 Mpa; classe III, entre 100 e 125 Mpa; classe IV, entre 125 e 150 Mpa e classe V, acima de 150 Mpa. Segundo o professor da Escola de Engenharia de São Carlos, da USP, Jefferson Liborio, responsável pelo Laboratório de Materiais Avançados à Base de Cimento (LMABC), dentro do Departamento de Engenharia de Estruturas, sua equipe conseguiu produzir um concreto cuja resistência à compressão chegou aos 145 Mpa em um dia, e 220 Mpa após três dias. Dados que demonstra quão evoluída está a tecnologia do Concreto de Alto Desempenho com relação ao Concreto Comum. No concreto comum, sua cura completa leva 28 dias para atingir no máximo 50 Mpa. Contudo, na década de 80, também em condições de laboratório, H. H. Bache<sup>2</sup> conseguiu produzir um concreto cuja resistência aos 28 dias alcançou 280 Mpa. Este feito se deve a relação água/cimento utilizada pelo engenheiro: 0,16, enquanto na maioria dos Concretos de Alto Desempenho esta relação é de 0,30.

A tecnologia envolvida nos CAD's se baseia praticamente na adição de dois novos produtos em sua composição: os redutores de água e a sílica ativa. A água no concreto pode ser o elemento mais prejudicial a sua resistência, uma vez que haja sobra de água no processo de hidratação do cimento, esta água irá evaporar deixando poros no interior da massa fazendo desta uma massa 'aerada' e portanto com muitos pontos sem resistência mecânica. A adição dos chamados superplastificantes, além de diminuir a quantidade de água, muitas vezes confere ao concreto a qualidade de auto-adensante. Uma vez que este aditivo aumenta a fluidez da massa, elimina-se a necessidade dos vibradores para compactar o concreto na

---

<sup>1</sup> - Mpa – Megapascal - Índice de resistência dos materiais que tem por objetivo classificar a estrutura quanto a sua margem de segurança à sobrecargas. Um Pascal equivale à pressão de 1 Newton aplicada uniformemente sobre uma superfície de 1 metro quadrado, sendo o Megapascal o equivalente a 1 milhão de Pascal. 1 Mpa = 10,1972 Kgf/cm<sup>2</sup>. No caso do concreto esta resistência à compressão é nomeada de FCK, no caso do aço, devido suas características elásticas, sua resistência é denominada como 'Tensão de Escoamento', também medido em Mpa. De qualquer maneira um concreto de 30 Mpa, por exemplo, tem uma resistência efetiva a compressão de 305,916 Kgf/cm<sup>2</sup>.

<sup>2</sup> Bache, H. H. – Densefied cement/ultra fine particle-based materials. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SUPERPLASTICIZER, 2, 1981, OTAWA. Anais, ...Otawa (s.n), 1981. p. 1-35. (de Lima, 2006, p.18)



fôrma. No caso da sílica, este elemento se porta como um agregado de tamanho até cem vezes menor do que uma partícula de cimento, fazendo desta nova composição um material muito mais denso do que o cimento comum. Este cimento com adição de sílica ativa se chama Cimento Pozolânico, enquanto o cimento comum é conhecido como Portland.



**Figura 2.1.1** – Foto a partir de um microscópio eletrônico – Percebe-se que a inserção de sílica na produção do concreto o torna diversas vezes mais denso, aumentando diversas vezes a resistência mecânica do material.



O aço, material freqüentemente utilizado em edifícios de grande porte, apesar de durante a obra não oferecer maiores dificuldades no processo de montagem, passa por processos de controle de qualidade semelhantes aos que o concreto deve se submeter, porém, agora com a vantagem de não o ser mais durante a execução do edifício; o que resulta em uma obra mais rápida e segura, principalmente no campo da estrutura. Existem mais de 3500 tipos diferentes de aços, sendo  $\frac{3}{4}$  destes foram desenvolvidos nos últimos 20 anos.

O metal mais abundante na natureza é o minério de ferro, e supõe-se que a primeira vez que se obteve a fusão, e portanto manipulação deste metal, foi na Ásia Menor, em 1500 a.C. As primeiras produções de ferro fundido se deram em pequena quantidade e com grande custo, principalmente no Oriente Médio. Até o fim da Idade Média, estas produções se limitavam a armaduras, espadas, machados, arados e demais artigos que serviam de ferramentas, mas nunca em artigos de dimensões expressivas.

No Egito, a obtenção do ferro ocorria da queima do mineral com madeira e carvão vegetal, esta queima ocorria com abanos para acelerar a combustão. Na Espanha o sistema desenvolvido já fornecia o chamado 'ferro doce', um ferro maleável pronto para sua utilização na bigorna, até hoje este é um termo habitual. Este sistema ficou conhecido como Forja Catalã e consistia em um forno que utilizava um fole manual e cujas paredes eram destruídas após suas 5 horas de fundição, tendo assim de ser produzido outro forno posteriormente. Apesar de ainda rudimentar, este processo se mostrou muito mais eficiente que os demais, sendo difundido pela França, Alemanha e Inglaterra. No século XV, com a criação do 'Forno Stuckofen', com altura de 3 metros, a fundição ocorria em maior quantidade, porém o processo era feito em duas etapas: do primeiro forno obtinha-se o ferro fundido, ou ferro gusa, para então no segundo forno se obter o ferro doce.

A evolução gradual dos fornos foi o que propiciou o aumento de utilização do ferro no período industrial. A substituição de carvão vegetal por mineral; fornos com 10 metros de

altura; a invenção de uma máquina a vapor que inseria ar sob pressão e demais outros feitos ao longo de 200 anos elevaram consideravelmente a qualidade e a quantidade do ferro utilizado no processo industrial.

Ao longo dos anos o barateamento da produção e a obtenção de um ferro cujo teor de carbono era maior, aumentando sua resistência mecânica e também ajudando a liquefazer o minério, trouxe grandes conseqüências ao mundo. Uma vez que o material se tornou mais resistente e mais plástico, houve a possibilidade de, na virada do século XIX, se produzir os primeiros perfis metálicos em forma de ‘U,T,I e L’ assim como as chapas metálicas, com isso a utilização do, agora, aço nas diversas áreas se tornou mais consistente, prática e precisa.

O próximo passo foi à produção em larga escala de metais e máquinas, o que gerou os motores a explosão e ficou conhecido como ‘Segunda Revolução Industrial’. Juntamente com o desenvolvimento da petroquímica e a utilização industrial da eletricidade o mundo passou a viver uma fase inédita e eternizada.

A grande evolução na produção do aço ocorreu em 1856, quando as fundições passaram a produzir diretamente o aço fundido, não sendo a inserção do carbono um processo a parte na produção do ferro. Isso ocorreu de forma empírica, não teórica, mas alguns anos depois com estudos de química mais aprimorados, este processo que ocorria em um meio muito ácido, com altos índices de fósforo, prejudicando a qualidade do aço, tornando-o mais frágil, passou a ser produzido com um revestimento básico sobre as fôrmas. Esta descoberta de Sidney Gilchrist Thomas tornou a produção do aço quantitativamente maior e com menor custo pois agora jazidas de ferro com alto teor de fósforo também podiam ser exploradas.

“Na Inglaterra a produção de ferro fundido passou de 17.350 toneladas, em 1740, para 2.701.000 toneladas, em 1852. Cresceu cerca de cento e cinquenta vezes, graças ao progresso da tecnologia, ao seu comércio exterior bem desenvolvido e também, ou principalmente, pelo privilégio geológico de possuir, em território economicamente próximos, jazidas de minério de ferro e de carvão de pedra, que resultou na localização dos complexos siderúrgicos independentes de florestas próximas.”

(CICARELLI, 2002, p.40)

No Brasil, as condições para produção do aço não se mostraram as mais favoráveis. Com 55% do minério de ferro concentrado no estado do Pará e 42% no estado de Minas Gerais, as reservas deste minério somam a quinta maior do mundo com o maior teor de pureza, porém no caso das reservas de carvão mineral, além de não se situarem próximos as de ferro, a qualidade deste carvão é muito baixa, tendo o mesmo de ser lavado e misturado a carvão estrangeiro para que sua queima atinja a caloria necessária.

As primeiras produções nacionais se deram em 1917, na companhia Ferrum, Rio de Janeiro, mas em 1920, com a visita do então Rei da Bélgica, foi concretizada, em Belo Horizonte, a instalação da Companhia Siderúrgica Belgo-Mineira cuja produção se restringia a fios, arames farpados e perfis leves, sendo apenas no ano de 1941 fundada a Companhia Siderúrgica Nacional (CSN), esta que entrou em funcionamento em 1946. A produção da CSN era em larga escala, chapas, trilhos e perfis, todos seguindo as bitolas americanas, o que finalmente colocou o Brasil em uma era industrial do aço. Em 1960 foram criadas a Usiminas e a Cosipa.

Apesar de possuir condições para uma grande utilização de aço na construção civil, o consumo de aço por habitante no Brasil está em torno de 1,5Kg/habitante, enquanto a média mundial está por volta de 30Kg/habitante. A principal causa do pequeno consumo de aço no Brasil está no fato de possuímos uma mão-de-obra desqualificada para trabalhar com este material e diversas vezes mais barata para se trabalhar em concreto do que na maioria dos países desenvolvidos. Com isso o custo/benefício de uma obra mais lenta porém executada em alvenaria estrutural ou concreto armado, materiais menos onerosos, salve algumas exceções, supre o valor final de uma obra executada com estrutura de aço.

O que define as características do aço quanto a sua rigidez e sua elasticidade é fundamentalmente a quantidade de carbono. Traços de outros elementos também podem

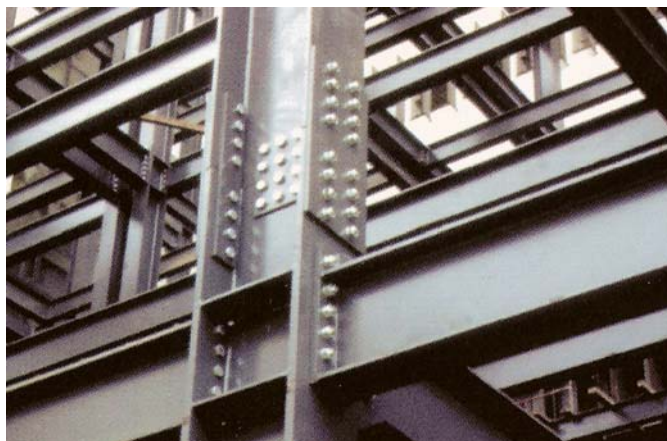
influir em suas propriedades finais, mas o carbono é o principal elemento para definir qual tipo de aço será obtido na fundição da liga. Na construção civil a variação de carbono se limita entre 0,18% e 0,25%, e quanto maior a quantidade de carbono maior a resistência e rigidez da peça, porém, com uma quantidade muito alta deste elemento, a ruptura da peça ocorre de maneira incisiva, sem grandes deformações. Os termos utilizados para definir as características de cada tipo de aço são bem específicos, por se tratar de um material muito bem mensurável, não se utiliza o termo limite de resistência, mas sim limite de escoamento; “Em materiais como os aços, o limite de escoamento é bem definido, pois à determinada tensão aplicada o material escoou, isto é, ocorre deformação plástica sem haver praticamente aumento da tensão.” (MATTOS, 2002, p.27). No caso da definição ‘elasticidade do aço’, trata-se da capacidade do material de voltar à sua forma original após aplicação de certa carga. Após uma compressão, por exemplo o aço pode sofrer uma deformação elástica ou plástica, sendo a última causadora de deformação na peça. Uma deformação plástica ocorre apenas quando a carga aplicada é igual ou superior ao limite de escoamento do aço. A ductilidade é a capacidade de o material sofrer uma deformação plástica, porém sem de fato se romper. “Quanto mais dúctil o aço maior é a redução de área ou o alongamento antes da ruptura.” (MATTOS, 2002, p.28). A ductilidade é de grande utilidade nas estruturas para uma maior distribuição das cargas; e o último conceito de caracterização de um aço é a tenacidade, que se trata da capacidade de absorção de energia nos materiais quando submetidos a cargas de impactos.

Dentre os elementos adicionados na formação de uma liga de aço estão o já mencionado carbono, o manganês, silício, enxofre, fósforo, cobre, níquel, cromo, nióbio e titânio. A maioria destes elementos tem por finalidade aumentar a resistência mecânica do aço e muitos deles ajudam a evitar a corrosão, porém todos acabam por prejudicar a ductilidade e, com exceção do nióbio, a soldabilidade das peças. O nióbio se apresenta como um elemento

essencial a ligas de alta resistência. O único destes elementos que não tem por objetivo aumentar a resistência mecânica, aumentando a resistência à corrosão e a fadiga é o cobre. A fadiga é um problema comum nos materiais metálicos, uma vez que um esforço é solicitado repetidamente sobre um mesmo ponto, este local terá uma perda de resistência devido à fadiga.

Todo este conhecimento a respeito das ligas metálicas fez com que os controles de qualidade do aço seguissem normas rigorosas, garantindo assim uma resistência efetiva de determinada peça estrutural; uma vez sendo a resistência destas peças bem definidas, as conexões passam a ser as maiores causadoras de problemas estruturais. Hoje em dia a união das peças pode ser feita de duas maneiras, por solda ou parafusos. Em alguns casos são aplicados simultaneamente estes dois tipos de conexão. Até por volta de 1945 era muito comum a utilização do rebite como forma de conexão, porém este método era o mais suscetível aos problemas de movimentação das peças.

Devido às conexões normalmente se encontrarem em pontos de mudança de direção dos vetores, são elas as maiores afetadas com as constantes movimentações em estruturas metálicas, e esta fadiga é exatamente o tipo de esforço que coloca a conexão de solda como opção secundária quando se busca um maior desempenho da estrutura, ou pelo menos apenas a solda. Embora esteticamente a solda possa apresentar uma unidade mais contínua e bem acabada da estrutura, as conexões em parafusos além de permitirem uma reutilização da estrutura, conferem maior segurança ao edifício, porém devem ser feitas manutenções periódicas destas conexões a fim de se evitar o escorregamento das mesmas.

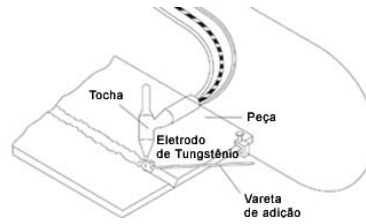


**Figura 2.2.1** – Conexão em parafusos – Este tipo de engaste, devido seu fácil diagnóstico em caso de problemas e sua fácil manutenção, se mostra o mais eficiente quando se busca segurança na estrutura. Apesar das qualidades práticas dos parafusos a maioria das obras que buscam qualidade estética, inclusive as de grande porte, utilizam apenas a solda como conexão.

Apesar da maior vulnerabilidade da solda, esta se mostra mais eficiente quanto à questão de peso na estrutura, podendo reduzir consideravelmente a quantidade de aço a ser utilizada, e também quanto à questão estética, sendo utilizado este tipo de conexão na maioria dos edifícios onde a estrutura ficará aparente. Apesar da redução de aço utilizado, a redução de custo no emprego da solda é relativa; uma vez que as técnicas de verificação da qualidade das soldas devem ser feitas por ultra-sonografia ou radiografia, seu custo inicial mais baixo pode acabar se revertendo ao término da obra. As soldas podem ser feitas por filete, colocada externamente aos elementos, ou por penetração, colocada entre os elementos e o processo de soldagem pode ser executado por arco elétrico ou submerso, onde a denominação ‘arco-elétrico’ consiste no sistema de aquecimento utilizado para fusão dos materiais. Dentro do processo de arco-elétrico os tipos de solda mais utilizados são as TIG e as MIG.

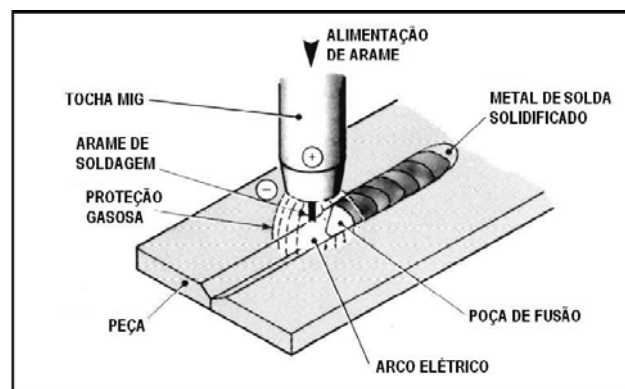
**TIG** - (Tungsten Inert Gas) O arco é gerado entre a obra e um eletrodo de Tungstênio (não consumível), de forma concentrada, fundindo as partes a serem soldadas, com auxílio ou não de material de adição. A região da solda é protegida contra contaminações do ar ambiente por atmosfera gasosa que flui através da tocha.





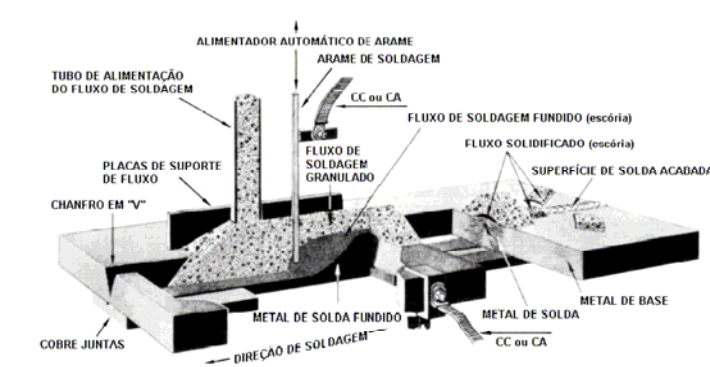
**Figura 2.2.2 – Solda TIG**

**MIG** - (Metal Inert Gas) Processo no qual um arco elétrico, controlado, é estabelecido entre a peça a ser soldada (obra) e um arame (eletrodo), o qual é continuamente alimentado através de uma tocha e fundido pelo arco, formando a poça de fusão e, conseqüentemente, o cordão de solda. A região de solda é protegida contra contaminações do ar ambiente por uma atmosfera de gás (puro ou em misturas) que flui, também, através da tocha.



**Figura 2.2.3 – Solda MIG**

**Processo Arco Submerso** - Consiste em um arame nu, continuamente alimentado, o qual produz o arco elétrico com a peça formando assim a poça de fusão. Ambos são recobertos por uma camada de fluxo granular que protege o metal da contaminação atmosférica, além de outras funções metalúrgicas. Portanto, o arco e a poça de fusão não são visíveis. O arco permanece "submerso", dispensando o operador de utilizar máscaras de solda.



**Figura 2.2.4 – Solda Arco Submerso**

Cada tipo de solda possui características que deverá definir qual será utilizada em cada caso. A TIG possui baixa temperatura de fusão, o que juntamente com a limpeza em sua execução se mostram fatores favoráveis, porém este processo não é indicado para chapas com mais de 6 mm e se trata de uma solda que trabalha por gravidade. No caso da MIG, as soldas se mostram de excelente qualidade, porém a produção de respingos e alta probabilidade de gerar poros no cordão de solda a tornam menos vantajosa. De qualquer maneira a solda MIG é mais indicada para a maioria dos trabalhos em estruturas, pois pode trabalhar em todas as direções e funde muito bem as peças. A solda por arco submerso produz um ótimo acabamento porém também trabalha por gravidade e depende de um maquinário complexo para ser executada.

Embora plasticamente as conexões sejam uma grande desvantagem ao se trabalhar com materiais metálicos, há a grande vantagem de se atingir grandes resistências nas peças com precisão. Os perfis 'I' produzidos em aço são normalmente vigas com comprimento de 6 ou 12m, com média resistência mecânica, alcançando 250 Mpa, ou com alta resistência mecânica e a corrosão com 345 Mpa. Deve-se frisar que este tipo de perfil, cuja produção lamina uma matéria bruta até atingir a forma de uma viga 'I', já não é a mais comum. Devido a pouca versatilidade na variação das peças o processo mais comum utilizado hoje é a

soldagem de três peças distintas, laminadas, cuja forma final continua sendo em 'I'; a resistência destas vigas é equivalente, porém a variedade de tamanhos as torna comercialmente mais vantajosas.

Os aços estruturais podem ser classificados em três grupos principais, conforme a tensão de escoamento mínima especificada:

<b>Tipo</b>	<b>Limite de Escoamento Mínimo, MPa</b>
Aço carbono de média resistência	195 a 259
Aço de alta resistência e baixa liga	290 a 345
Aços ligados tratados termicamente	630 a 700

**Tabela 2.2.1** – Classificação e resistência dos tipos de Aço

Sendo que o aço mais comum usado em estruturas que exigem alta resistência mecânica são os chamados 'de alta resistência e baixa liga', sendo os denominados 'ligados tratados termicamente' aços que possuem alto teor de carbono, cerca de 0,6%, e apresentam elevada dureza após o processo de têmpera; normalmente este tipo de aço é utilizado em trilhos, molas, engrenagens, componentes mecânicos sujeitos a desgastes ou pequenas ferramentas, não sendo utilizado em estruturas para construção civil.



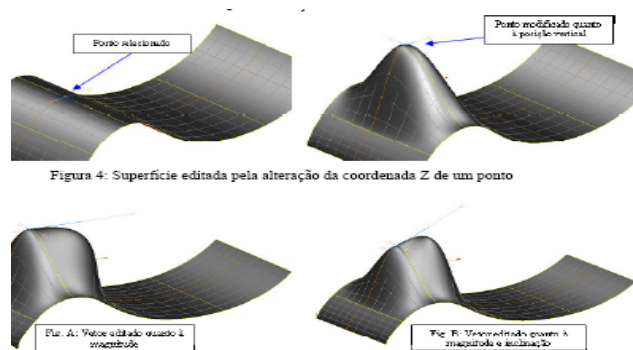
Embora todo estudo ao redor da composição de ligas metálicas esteja muito evoluído em relação aos primeiros metais utilizados na arquitetura, os estudos entorno de suas aplicações na arquitetura contemporânea certamente ainda não atingiram seu pleno desenvolvimento. Como será demonstrado mais adiante, a busca da estética contemporânea não está nas linhas retas e padronizadas, ou seja nega completamente este processo industrial que se desenvolve em larga escala nas siderúrgicas. Mas se a utilização das ligas metálicas está crescendo exponencialmente nos edifícios aqui em questão, isso se deve não ao retorno de uma produção artesanal, mas a uma produção industrial cuja base está na diferenciação das peças com o mesmo ritmo produtivo dos produtos em larga escala. Esta otimização se deve unicamente a integração dos computadores ao processo industrial.

A sigla CAD (Computer Aided Design), que significa design auxiliado pelo computador, é conhecida há tempos pelos arquitetos. Assim que os primeiros programas voltados para desenhos surgiram, os escritórios de arquitetura tiveram rapidamente de se adaptar a esta nova tecnologia para o desenvolvimento de seus projetos. A sigla CAM (Computer Aided Manufacturing), produção auxiliada pelo computador, da mesma maneira mudou completamente a dinâmica de produção nas grandes indústrias, porém o grau de comparação e de inserção mercadológica entre uma e outra área é muito distante, a adequação dos maquinários de uma indústria para a inserção desta tecnologia ainda não é muito vantajosa, a demanda para este tipo de processo, dentro da construção civil, ainda se restringe a poucos edifícios mais ousados, porém dentro de poucos anos este será mais um processo comum dentro das usinas.

Apesar de esta ser a tecnologia mais avançada na produção de grandes peças, os primeiros trabalhos a utilizar este sistema datam de 1950, e foram executados pelo Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT). Os sistemas desta época se limitavam a produções em duas dimensões, porém já propiciava maior precisão no dimensionamento e maior agilidade

em qualquer alteração necessária. Durante anos esta tecnologia se manteve restrita a grandes empresas voltadas área automobilística ou aeroespacial, e foi apenas na década de 90, com a criação dos computadores pessoais, auxiliados pelo sistema windows que trabalha de maneira muito mais intuitiva, que se começou a utilizar em maior escala este tipo de produção.

Os sistemas de desenho CAD atuais não se limitam mais a representações em duas dimensões, a possibilidade formal se tornou tão mais complexa que se tornou possível desenhar e manipular formas livremente no espaço com toda precisão necessária para que esta informação seja fielmente reproduzida. Esta nova precisão projetual acabou por gerar outro problema que somente o auxílio do próprio computador poderia resolver, o cálculo estrutural de tais peças. Os programas que auxiliam os cálculos estruturais talvez sejam tão antigos quanto os CAD, porém a compatibilidade destes programas só veio a ocorrer também na década de 90, e hoje, com uma integração quase irrestrita destes sistemas, os limites à criatividade formal se limitam exclusivamente à resistência dos materiais. Provavelmente a evolução dos materiais seja a única barreira que deverá ser constantemente aprimorada para que a arquitetura continue se desenvolvendo de maneira inédita; pode-se afirmar que no âmbito formal, a tecnologia possibilitou uma arquitetura mensurada, quantificada e executada com uma precisão tal que dificilmente será superada ao longo dos anos, devendo apenas os meios pelos quais isso ocorre evoluírem.



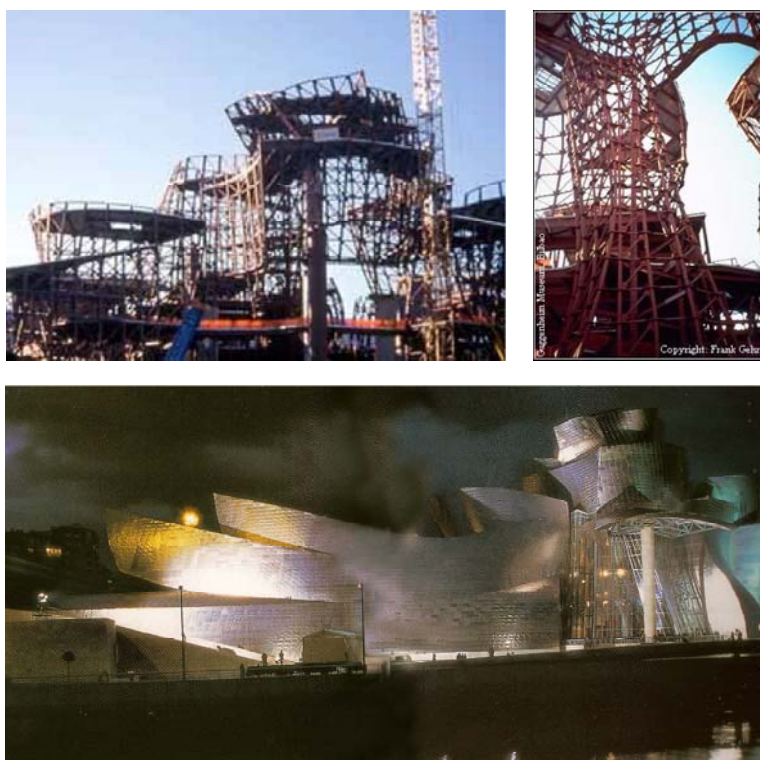
**Figura 2.3.1** – Exemplo de concepção de uma chapa com diversos raios de curva utilizando programas eletrônicos tipo CAD. Com ferramentas de deformação das superfícies ou dos volumes é extremamente simples e preciso criar formas orgânicas a partir de formas comuns.

Após toda a modelagem das peças no computador, apenas as informações referentes às coordenadas cartesianas são transmitidas para linha de produção que inicia a usinagem das peças. O processo de arredondamento das peças pode ser executado de três maneiras: torneamento, eletroerosão ou fresamento, sendo que nas máquinas mais complexas podem ser utilizados até cinco eixos diferentes de curvas na mesma peça. Porém a eficiência deste processo se restringe à espessura e a densidade do material a ser utilizado, tais sistemas ainda funcionam de maneira muito melhor à produção de coberturas por exemplo, onde podem ser utilizadas chapas extremamente finas e portanto mais maleáveis, do que a peças maciças, com grandes volumes.

O exemplo mais intenso de como pode funcionar este tipo de produção certamente está representado no museu Guggenheim de Bilbao, na Espanha. Com sua estrutura praticamente toda em uma espécie de malha, formada pela união de treliças planas de aço, e uma cobertura composta por chapas curvas sobrepostas, chapas cuja opção de liga foi o titânio devido o alto índice de corrosão local, o edifício apresenta uma sucessão de formas curvas em dimensões monumentais, executado por este processo industrial descrito, até então inédito, conseqüentemente, gerou uma arquitetura inédita.

A biografia do arquiteto Frank Gehry, autor do projeto em questão, mostra que desde criança suas experiências estavam ligadas ao mundo da arte, com isso as dificuldades projetuais sempre o acompanharam no mundo da arquitetura. No começo da década de 90 Gehry se deparou com a dificuldade de executar um edifício de 49 m. de comprimento por 30 m. de altura com a forma de um peixe; o edifício destinava-se a Vila Olímpica de Barcelona, e a solução encontrada por Gehry foi a utilização de um programa chamado CATIA. Francês, este programa foi desenvolvido para a indústria aeronáutica e utilizado para desenvolver o jato de combate Mirage. Trata-se de um programa complexo e muito bem desenvolvido onde,

com uma caneta a laser, basta posiciona-la sobre a superfície da maquete para que os dados, já em coordenadas cartesianas, sejam transferidos para o modelo eletrônico. A partir daí o próprio programa se encarrega de traçar as melhores soluções estruturais e, a partir dos pontos de maior vulnerabilidade, calcular os componentes com tal precisão que, mesmo possuindo formas sinuosas, todos se unam como em um quebra-cabeça. Esta tecnologia foi o que impulsionou Gehry a expandir violentamente sua possibilidade de representação artística em edifícios de grande porte.



**Figura 2.3.2** – Museu Guggenheim, Bilbao, Espanha – Utilizando as tecnologias mais modernas este edifício conseguiu atingir uma estética inédita e tão fragmentada quanto uma escultura pode ter. A constante evolução técnica ao se conceber um projeto como este poderá, em pouco tempo e provavelmente em uma escala menor, difundir este tipo de arquitetura sem maiores dificuldades.

Fica claro que toda esta tecnologia aplicada no campo da construção civil, trabalha de maneira muito mais adequada à indústria metalúrgica e aos materiais metálicos do que ao concreto armado, e apesar de conter todo um custo intrínseco as produções mais avançadas, esta tecnologia acaba por se tornar muito mais proveitosa economicamente, quando tratamos



de grandes obras com estruturas curvas, do que de fato a utilização do concreto armado, cujo preço do material é diversas vezes inferior ao do aço, mas o processo construtivo não. Porém mesmo sendo o aço o material mais indicado para a superestrutura<sup>1</sup> neste tipo de obra, o concreto não perdeu completamente sua função, quando os esforços se concentram verticalmente, trabalhando apenas a compressão das peças, ou quando em contato direto com o solo ou água, a preferência estrutural continua sendo o concreto. Devido o alto índice de corrosão do aço, este em condição alguma é utilizado como infraestrutura<sup>2</sup>.

Tanto o aço como o concreto possuem vantagens construtivas, e apesar de a arquitetura contemporânea se adequar com muito mais segurança e qualidade ao aço, encontrando meios eficientes para executar desígnios até então reprimidos, foi o concreto armado quem apresentou um mundo de possibilidades formais a esta nova arquitetura; e se hoje sua função estrutural se mostra secundária limitada aos alicerces e centro rígidos, sua necessidade será sempre uma constante dentro dos edifícios mais modernos, pois como veremos nos exemplos práticos, a arquitetura mais avançada do aço depende da tecnologia do concreto armado para efetivar-se, assim como a arquitetura mais avançada do concreto precisou do aço para representar-se.

---

<sup>1</sup> Superestrutura – Composta basicamente por todas as peças estruturais que se situam acima da linha do chão: pilares, vigas, coberturas e demais elementos que sirvam de apoio mas que não de base para o edifício.

<sup>2</sup> Infraestrutura – Composta por todos os elementos que servem de base para a superestrutura: blocos, baldrame, estacas e demais peças que se encontram abaixo do solo ou tem como única função o apoio de um sistema estrutural.



Explorando o quadro sócio-cultural deste último século, considerado a partir das mudanças pós-industriais, tentaremos esclarecer neste capítulo as bases e a fundamentação artística do pensamento pós-moderno. A dificuldade de trabalhar este assunto está não apenas no fato de se tratarem de ‘tendências’ produzidas ao longo do tempo e em diversos locais, mas também pelas características recentes e pluralistas deste tema.

Exibindo as origens desta nova marca, foram selecionados trabalhos que colocam como ponto principal os aspectos arquitetônicos deste período, mas tentando não abandonar aspectos político-econômicos gerais e explicando historicamente como se criou e difundiu a arte contemporânea a partir da Europa industrializada. Após entendermos as linhas gerais do pensamento pós-moderno, será demonstrado como se inserem e se comunicam monumentos e edifícios contemporâneos em uma posição de arte visual, distinguindo então os aspectos morfológicos e estéticos da arquitetura contemporânea.

Voltado principalmente para a questão moderna, em seu livro ‘Tudo que é sólido desmancha no ar’, Marshall Berman coloca três fases bem distintas dentro do período moderno. A primeira se inicia cerca de cem anos após as expansões ultramarinas e finaliza no início da revolução industrial, ou mais precisamente como colocado pelo autor, ‘com a grande onda revolucionária de 1790’.

[...] as pessoas estão apenas começando a experimentar a vida moderna; mal fazem idéia do que as atingiu. Elas tateiam, desesperadamente mas em estado de semicegueira, no enalço de um vocabulário adequado; tem pouco ou nenhum senso de um público ou comunidade moderna [...]

(BERMAN, 1986, p.16)

Uma fase que para nós não representa grandes influências. A segunda fase já se mostrou mais dinâmica; a população vive intensas modificações na vida pessoal, social e política, mas apesar de toda a agitação de revoluções e convulsões sociais, o público moderno do século XIX ainda vive resquícios de valores materiais e espirituais de um mundo não modernizado. É nesta fase de divisão comportamental, vivendo em dois mundos ao mesmo

tempo, que emerge a idéia de modernismo e modernização. Mas é na terceira e última fase, que o modernismo realmente se caracteriza, fase que se desenvolveu a partir do século XX. O processo de modernização agora envolve todo o mundo, e é justamente pelo fato de se expandir tanto que o pensamento moderno se fragmentou e subdividiu-se em diversas linguagens, segundo Berman, sua ramificação chegou a ponto de perder a capacidade de ‘organizar e dar sentido à vida das pessoas’, a modernidade se tratava agora de ideais amalgamados de diferentes formas ocorrendo ao mesmo tempo em diversas culturas e espaços.

A dimensão atingida pelo conceito de modernidade neste último século foi exponencialmente maior do que nos seus últimos três séculos de sua existência, para Berman o paradigma criado a respeito do homem moderno foi mais intenso do que os conflitos e as contradições psicológicas estudados por Freud ou as lutas de classe e sociais por Marx, o homem, como reflexo de seu tempo, se tornara um ser voltado para uma ‘administração total’ de todas as situações, “[...] programados para produzir exatamente aqueles desejos que o sistema social pode satisfazer” (BERMAN, 1986, p.28).

Esta visão é colocada pelo autor como uma caricatura observada a partir do século XIX, como o homem seguindo exatamente um modelo consumista que a indústria precisava, sem maiores ambições que não fossem materiais e sintéticas; o que de fato seguiria outro rumo, na verdade, outros três rumos que soam para o autor como uma divisão aparentemente simplista devido sua natureza sutil e menos dialética desta terceira fase de modernidade.

Na primeira destas vertentes, ou subvertentes, a arte moderna seguia um rumo contrário e independente da vida real. O modernismo se apresentava como uma ‘arte-objeto pura’, negando qualquer vínculo com a história ou a vida social. Em parte, esta era uma posição inflamada pelo clima de revoltas políticas que atingiu seu apogeu por volta de 1960.

“Esse modernismo busca a violenta destruição de todos os nossos valores e se preocupa muito pouco em reconstruir os mundos que põe abaixo.” (BERMAN, 1986, p.29).

Ao mesmo tempo em que ocorria esta tendência agressiva e até autodestrutiva nas artes, a evolução ocorrida na área da arquitetura e da construção, participando como o segundo rumo mencionado por Berman, revelava o equilíbrio harmonioso das formas limpas, porém agora, como uma arte voltada para a vida real e de teor inverso às demais artes. O terceiro ponto característico nessa idéia de modernismo é a busca de um modelo ideal de sociedade, isento de perturbações e distúrbios sociais, abstraindo um pouco esta ‘interminável incerteza e agitação’, que a dois séculos acompanhava a vida moderna.

Fica claro no texto que a visão que se desenvolveu ao longo dos anos 60 foi a de uma multidisciplinaridade no mundo das artes, coincidindo com a aparição da ‘*pop-art*’. A tendência sócio-cultural era diminuir ao máximo a distância entre a arte e as demais atividades humanas, formando artes mais diversificadas e polivalentes. Este poderia ser o primeiro sinal de uma conformação cultural semipermeável e com um deslocamento constante de informações. É a partir daí que despertam nossos interesses pelos ativistas culturais.

Para modernistas deste tipo, que as vezes se autodesgnam ‘pós-modernistas’, o modernismo da forma pura e o modernismo da pura revolta eram ambos muito estreitos, muito auto-indulgentes, muito castradores do espírito moderno, seu ideal era cada um abrir-se à imensa variedade e riqueza das coisas, materiais e ideais, que o mundo moderno inesgotavelmente oferece. (BERMAN, 1986, p.31)

Esta situação geral que vinha ocorrendo, a de tentar compreender o moderno, teorizar todo acontecimento e manter-se sempre atualizado, já não faz parte da década de 70, época que segundo o autor ‘insípida’, simplesmente ignora todas as questões de auto-identidade e

história, se dedicando mais a pesquisas estruturalistas<sup>1</sup> e fragmentadas e menos ao entendimento ‘rigoroso’ dos fatos passados.

Em vez disso, retalharam a modernidade em uma série de componentes isolados – industrialização, construção, urbanização, desenvolvimento de mercados, formação de elites – e resistem a qualquer tentativa de integrá-los em um todo [...] acelerou a desintegração de nosso mundo em um aglomerado de grupos de interesse privado, material e espiritual [...] (BERMAN, 1986, p.32)

Ocorreu uma setorização não só histórica como também social, revelando um teor muito prático nas análises teóricas da década. Berman coloca Michel Foucault como o grande observador desta fase, para Foucault, que freqüentava hospitais, prisões e asilos, a modernidade havia moldado um esquema de falsa liberdade, envolvendo o homem em uma espiral produtiva que se assemelha a uma teia, o que Berman interpreta como uma tentativa de amenizar o sentimento de passividade e desesperança que influenciou muitos nos anos 70. Política e economicamente o mundo estabelecia uma nova ordem, ou duas novas ordens; mas no caso capitalista, neste momento com regras flexíveis no sentido de conciliar patrão e empregado e extremamente rígidas no sentido de manter todos produzindo e consumindo bens materiais, a realidade sensível e intelectual se reduziu a tudo que era materialmente consumível, utilizando como grande meio gerador de necessidades a propaganda.

Continuando esta análise conceitual David Harvey expõe como a sociedade e seus valores se portaram em um período seqüente aos anos 70, categoricamente colocado por ele como pós-moderno.

---

<sup>1</sup> Estruturalismo – “O termo *Estruturalismo* tem origem no *Cours de linguistique générale* de Ferdinand de Saussure (1916), que se propunha a abordar qualquer língua como um sistema no qual cada um dos elementos só pode ser definido pelas relações de equivalência ou de oposição que mantém com os demais elementos. Esse conjunto de relações forma a estrutura.” (Wikipédia – 07.08.06)

Método de análise e interpretação dos fenômenos sociais que, partindo do pressuposto de que estes têm uma natureza simbólica e comunicacional, procura entendê-los como estruturados em sistemas de relações lógicas, formais, que vigoram num nível inconsciente nos diversos aspectos da vida coletiva (do parentesco aos mitos, e mesmo à psicologia individual), de tal modo que, pela elaboração de modelos conceituais abstratos, e operando permutações entre seus elementos, se possa alcançar um grau crescente de generalização do conhecimento sobre as sociedades humanas. (Novo Dicionário Aurélio)

No campo da arquitetura, a argumentação contra o modernismo estava munida de todos os erros que qualquer empreitada abrupta como aquela comete. Harvey alia críticas como a destruição desenvolvimentista feita em Londres e problemas de ordem construtiva e ambientais sem tempo hábil para serem desenvolvidas à necessidade de criação de uma nova identidade estética que não aliasse individualismo a sentimentalismo ou romantismo à *kitsch*, como os pontos cruciais para o fim desta arquitetura intelectualmente ríspida e politicamente correta. A nova arquitetura buscava a ‘pessoa’ como objetivo não mais o ‘homem’. Para críticos e arquitetos da época a imagem reproduzida diversas vezes e em grande escala discursada e utilizada no modernismo era uma tendência fraca e facilmente reproduzida por qualquer máquina ou computador. Afirmações como estas expressavam a posição de artistas cuja vontade era de resolver os programas de uma maneira mais ‘orgânica e pluralista’, voltando a seguir a linha mais natural do desenvolvimento, não a linha mecânica e oposicionista.

“...ninguém menos do que o papa João Paulo II tomou o partido do pós-moderno. O Papa “não ataca o marxismo nem o secularismo liberal porque eles são a onda do futuro”, diz Rocco Buttiglione, um teólogo próximo do Papa, mas porque, “como as filosofias do século XX perderam seu atrativo, o seu tempo já passou”. A crise moral do nosso tempo é uma crise do pensamento iluminista. Porque embora este possa de fato ter permitido que o homem se emancipasse “da comunidade e da tradição da Idade Média em que sua liberdade individual estava submersa”, sua afirmação do “eu sem Deus” no final negou a si mesmo, já que a razão, um meio, foi deixada, na ausência da verdade de Deus, sem nenhuma meta espiritual ou moral. Se a luxúria e o poder são “os únicos valores que não precisam da luz da razão para serem descobertos”, a razão tinha de se tornar um mero instrumento para subjugar os outros (Baltimore Sun, 9 de Setembro de 1987). O projeto teológico pós-moderno é reafirmar a verdade de Deus sem abandonar os poderes da razão.” (HARVEY, 2004, p.47)

Esta afirmação não coloca mais ou menos importância para a causa pós-moderna por ter sido proclamada pelo representante da igreja, porém revela a necessidade do modernismo de rompimento com qualquer conexão que restasse com a cultura política social e econômica

sedimentada há séculos atrás, limitando a sociedade com seus sistemas administrativos herméticos. Este rompimento que representava a liberdade e a prerrogativa alcançada pelos modernistas, além de revelar grande evolução em todas as áreas, revelou também a busca desenfreada dos pós-modernistas à liberdade formal, que tinham agora a seu favor dois pontos elementares: uma sociedade apta a mudanças culturais e uma tecnologia dos materiais muito mais aprimorada.

Com características tão próximas em suas raízes, como a busca de revolução e liberdade, é levantada por Harvey a questão de que o pós-modernismo talvez fosse uma extensão, ou subdivisão de um período dentro do próprio modernismo, uma espécie de adaptação mercadológica, ou como mencionado em seu livro uma “lógica cultural do capitalismo avançado”, mas na arquitetura, as semelhanças entre estes dois estilos não vão muito além disto, enquanto o moderno preconizava o ‘eterno e imutável’, o pós-moderno se baseava em conceitos extremamente opostos. Sua estética fragmentada e caótica faz do pós-modernismo uma realidade muito mais adaptada à condição capitalista atual; condição que exige o consumismo contínuo para não se extinguir, explorando um ecletismo cíclico, mas também gerando uma imagem menos impessoal da arquitetura para a cidade. Fica claro no texto de Harvey o quanto esta posição de estilos dispersivos da arquitetura pós-moderna se relaciona com o período transitório e caótico pelo qual passou a sociedade moderna, podendo muito bem se posicionar como pertencente a este período uma vez que transmite as sensações imprevisíveis pela qual passou a sociedade neste último século.

Isso contudo não implica que o pós-modernismo não passe de uma versão do modernismo; verdadeiras revoluções da sensibilidade podem ocorrer quando idéias latentes e dominadas de um período se tornam explícitas e dominantes em outro. (HARVEY, 2004, p.49)



Uma das características marcantes da arte é a comunicação, noção que será mais desenvolvida adiante, e que para Harvey, aparecia dentro do pós-modernismo com uma mensagem implícita dos conceitos deconstrutivistas de Jacques Derrida, formados logo após as teorias estruturalista da modernidade. Sob a visão deconstrutivista, os processos informativos deixaram de ser analisados sob aspectos como ‘significado e significante’ ou ‘meio e mensagem’, o novo pluralismo lingüístico assumia formas onde toda e qualquer influência sensorial se mesclava com livre interseção, formando uma linguagem nova, sem limites e com vida própria, onde a ‘colagem / montagem’ constituía a base primária da estrutura pós-moderna. Esta nova liberdade formal, segundo Derrida, ‘quebra a continuidade ou linearidade do discurso e leva necessariamente a uma dupla leitura: a do fragmento percebido com relação ao seu texto de origem e a do fragmento incorporado a um novo todo; a uma totalidade distinta’, ou seja, havia uma busca a novas verdades, ou como o autor coloca, a uma verdade transitória, ilusória, verdade onde, segundo os pós-modernistas, não deveríamos nos engajar em projetos globais, aceitando o pragmatismo como a única filosofia de ação possível. Visão que revela uma sociedade contemporânea tentando se expressar através de uma realidade transitória e voraz.

Ambos os autores, Berman e Harvey, tratam com particularidade suas respectivas análises no campo da arquitetura, porém, pelo fato de se tratarem de dois estudos amplos sobre correntes culturais, esta questão é abordada com muito mais ênfase no chamado ‘planejamento urbano’ por Berman, e ‘projeto urbano’ por Harvey, pois o que em um primeiro instante estava voltado para um desenho racional e eficiente, posteriormente se voltou para um foco artístico-cultural, e porque não, econômico.

O pós-modernismo, cultiva [...] um conceito do tecido urbano como algo necessariamente fragmentado, um ‘palimpsesto’ de formas passadas superpostas umas às outras e uma, ‘colagem’ de usos correntes, muitos dos quais podem ser efêmeros. Como é impossível comandar a metrópole exceto aos pedaços, o projeto urbano (e observe que os pós-modernistas antes projetam do que planejam) deseja somente ser sensível às tradições

vernáculas, às histórias locais, aos desejos, necessidades e fantasias particulares que podem variar dos espaços íntimos e personalizados ao esplendor do espetáculo, passando pela monumentalidade tradicional. Tudo isso pode florescer pelo recurso a um notável ecletismo de estilos arquitetônicos. (HARVEY, 2004, p.69)

O que Harvey, inicialmente, coloca como uma perspectiva intimista e acolhedora à cidade produzida pelo pós-modernismo, no parágrafo seguinte se desenrola como agravante de um problema que, sequer resolvido pelos modernistas, agora é abandonado, ou pelo menos levado em segundo plano, revelando um ponto aparentemente descuidado da empreitada pós-moderna.

Verifica-se, sobretudo, que os pós-modernistas se afastam de modo radical das concepções modernistas sobre como considerar o espaço. Enquanto os modernistas vêem o espaço como algo a ser moldado para propósitos sociais e, portanto, sempre subserviente à construção de um projeto social, os pós-modernistas o vêem como coisa independente e autônoma a ser moldada segundo objetivos e princípios estéticos que não tem necessariamente nenhuma relação com algum objetivo social abrangente, salvo, talvez, a consecução da intemporalidade e da beleza ‘desinteressada’ como fins em si mesmas. (HARVEY, 2004, p.69)

Ao longo deste capítulo Harvey expõe mais características da arquitetura pós-moderna que, utilizando os argumentos de Charles Jencks<sup>2</sup>, crítico e teórico deste estilo de arquitetura, cria novos rumos para a afirmação acima, colocando esta fase como inserida em um período de grandes revoluções na comunicação mundial. Enfim, hoje a interação social ocorre de uma maneira muito diferenciada no espaço, possibilitando uma configuração descentralizada das formas urbanas e cumprindo assim seu papel social de uma maneira bem distinta dos grandes espaços públicos modernistas. Outro fator mencionado, que incentiva a particularização extrema de cada projeto, esta na ostentação consumista de nossa época, onde a distinção social de cada indivíduo passa pelas características suntuosas de seus bens, como um fetiche, o que Jencks chama de ‘capital simbólico’; fenômeno que tem em sua essência um fascínio pela decoração, ornamentação e diferenciação estética, como ‘códigos e símbolos de distinção

---

<sup>2</sup> Jencks, Charles (1984), *The Language of post-modern architecture*, Londres.

social'. Seguindo este modelo de auto-renovação, largamente explorado no processo industrial capitalista moderno, a arquitetura pós-moderna tem por objetivo prolongar sua existência mercadológica e superar seus rendimentos.

Sobre o capital simbólico, Aldo Rossi<sup>3</sup>, escritor dedicado ao entendimento da arquitetura e urbanismo contemporâneos, coloca que esta fórmula se apresenta na cidade como causadora de processos demolitórios e rápidas mudanças de uso, um resultado de constantes especulações, sinais de uma dinâmica urbana que só se mostra estabilizada quando tratamos especificamente de monumentos urbanos; designado por ele como 'signos da vontade coletiva expressa pelos princípios da arquitetura' estes monumentos têm como função criar pontos fixos na dinâmica urbana.

O estudo ao redor de monumentos envolve muitas considerações a respeito de mitos e rituais que se incorporam em uma 'memória coletiva', criando no arquiteto contemporâneo um desejo de manifestação de sua obra. Para Harvey, assim como a busca pelo eterno e imutável criou o modernismo 'heróico' dos anos 30, esse extremismo representativo pode ser uma armadilha nociva ao pós-moderno.

A significação no pós-modernismo toma rumos diversas vezes ligado ao passado histórico. O que inicialmente pode parecer um ecletismo redundante ou meramente uma falta de identidade cultural para Rossi esta conectado a busca de preservação de nós mesmos:

O impulso de preservar o passado é parte do impulso de preservar o eu. Sem saber onde estivemos, é difícil saber para onde estamos indo. O passado é o fundamento da identidade individual e coletiva; objetos do passado são a fonte de significação como símbolos culturais. A continuidade entre passado e presente cria um sentido de seqüência para o caos aleatório e, como a mudança é inevitável, um sistema estável de sentidos organizados nos permite lidar com a inovação e a decadência. O impulso nostálgico é um importante agente do ajuste à crise, é o seu emoliente social, reforçando a identidade nacional quando a confiança se enfraquece ou é ameaçada.

(HARVEY, 2004, p.85 apud ROSSI, 1982)

---

<sup>3</sup> Rossi, Aldo (1982), *Architecture and the city*, Cambridge, Massachusetts.

Passando para uma análise exclusiva dentro do campo da arquitetura, o autor Alan Colquhoun, em seu livro 'Modernidade e tradição clássica', faz um trabalho que aborda da passagem do período clássico até o pós-moderno. Um estudo onde logo na primeira parte é colocado que o ecletismo, estilo sucessor do então classicismo, era a tendência projetual mais latente na arquitetura do fim do século XVIII, e se apresentou como uma consequência das teorias historicistas<sup>4</sup> e romancistas que se formaram exatamente neste período. Este ecletismo formaria a base para uma revolução total da arquitetura, porém se baseava em uma mistura simples dos estilos clássicos, não tendo condições, técnica ou cultural de se correlacionar com o ecletismo pós-moderno a não ser pela opção de miscigenação arquitetônica. Depois desta primeira etapa de mudanças a partir do estilo clássico ainda vieram alguns estilos como o *Art Nouveau* e o *Art Déco*, que ocorreram respectivamente nas últimas e primeiras décadas do século XIX, até, enfim, o surgimento do próprio modernismo, onde o autor enfatiza as produções tanto teóricas como práticas de Le Corbusier.

Após a extensa passagem pelos períodos pré-modernistas e modernista, Colquhoun por fim expõe sua leitura pós-moderna. Começando pela idéia de passagem gradual dos estilos, é mencionado, o também citado por Harvey, Andréas Huyssen<sup>5</sup>, como um analista adepto da posição de que o pós-moderno, longe de participar dos conceitos unificadores modernistas, acabou se tornando o espontâneo pretendente de um ciclo que se encerrou naturalmente. “[...] os movimentos da arte e da arquitetura que tomaram o lugar de um alto modernismo extenuado.” (COLQUHOUN, 2004, p.229; apud HUYSSSEN, 1984). Esta posição, segundo Colquhoun, deixa claro que a arquitetura pós-moderna ao mesmo tempo em

---

<sup>4</sup> Historicismo – “Doutrina que estuda seus objetos do ponto de vista da origem e desenvolvimento deles, vinculando-os às condições concretas que os acompanham.” (Novo Dicionário Aurélio)

“Segundo o historicismo, o conceito clássico de um ideal fixo e imutável era, na verdade, um falso realismo [...]” (Colquhoun, 2004, p.25).

Uma das noções essenciais do historicismo estava ligada à idéia de evolução, voltando o trabalho dos historiadores a modelos de pesquisa do passado de certas sociedades cujo foco estava direcionado a própria pesquisa, diferentemente de modelos que buscavam a confirmação de princípios.

<sup>5</sup> Huyssen, Andréas, *Mapping the Postmodern*, New German Critique, 33, outono de 1984.

que não seguira o ideal comum modernista, formara em seus diversos modelos pluralistas uma série de modelos ‘semi-autônomos’ que possuem características particulares dentro da cultura contemporânea. Porém o autor sente antes a necessidade de posicionar a arquitetura pós-moderna dentro das artes, política e economia do que de fato expor uma análise fracionada de todas as vertentes pós-modernas.

A arquitetura, segundo Colquhoun, se distingue às demais artes por não se tratar de uma categoria independente, de recursos próprios, o que ‘aparentemente’ em outras áreas não ocorre, ou, se ocorre, certamente não com o mesmo peso que na área da construção. A arquitetura tanto do século 20, como de hoje tem de se aliar às principais tendências econômicas progressistas para ser associada aos desenvolvimentos tecnológicos e sociais, complementa o autor; o que, seja dentro de concursos ou qualquer outro tipo de seleção, sempre se guiará por caminhos tendenciosos, caminhos não necessariamente maléficos a cidade, porém tendenciosos. “[...] manter a independência com relação ao gosto burguês, o que tem sido a ambição da arte desde o século XIX.” (COLQUHOUN, 2004, p.230).

O fracasso do movimento moderno, se deu por causa de sua teoria exageradamente grande, antes mesmo de ser colocada em prática. Seu fracasso estava sendo almejado por toda a crítica; sua promessa era ‘nada menos’ que uma revolução rural e urbana, longe de uma realidade factível, em quanto que a proposta pós-moderna era uma renovação espiritual, baseado única e exclusivamente na imagem. Certamente no período moderno foi difícil se conciliar os demais movimentos artísticos ao objetivo social da arquitetura; porém na pós-modernidade, os modelos artísticos puderam compartilhar o mesmo patamar representativo da arquitetura, sem necessariamente criar uma revolução política para isso, o que demonstra, novamente, a associação da arquitetura pós-moderna com imagens individuais e diferenciadas.

Na escala do edifício, a arquitetura moderna, segundo alguns de seus próprios praticantes, se inferiorizava a nova arquitetura, sua extrema monotonia formal, e não apenas isto, mas também sua constante falha técnica e prática, levaram, na mudança dos tempos, a opção de muitos modernistas em se dedicarem a uma arquitetura mais despretensiosa. A arquitetura moderna não supria mais o mercado, não estava mais adaptada à cultura contemporânea do que a arquitetura pós-moderna. Mesmo assim formou-se uma nova crítica especializada à causa moderna, que segundo Colquhoun mais preparada para análise dos argumentos, colocava a limpeza formal ligada à funcionalidade e a praticidade dentro de um estilo que buscava o átomo estético; a parte mais indivisível da arquitetura.

O que o autor coloca como última e definitiva argumentação pós-modernista, seria justamente o estruturalismo de Ferdinand de Saussure, mencionado também por Berman, mas colocado aqui de maneira mais direta à arquitetura, não às artes:

De acordo com esta abordagem, a capacidade dos signos de transmitir significado, em qualquer que seja seu sistema, depende de uma estrutura arbitrária e convencional de relações dentro de determinado sistema, e não da relação entre signos e referentes preexistentes ou fixos na realidade externa. (COLQUHOUN, 2004, p.232)

Esta seqüência de argumentações gerou perda de fé, por parte dos modernistas, em qualquer força dentro da arquitetura capaz de gerar mudanças técnicas, sociais ou políticas; foi o primeiro passo a favor do pós-modernismo, embora fique claro no texto que apesar desta descrença na força da arquitetura em si, as motivações por mudanças não definharam, apenas não se sustentavam de maneira tão direta nos equipamentos da cidade. Colquhoun sugere que havia mais do que a única versão de passagem para a pós-modernidade que defendia ou não a resistência cultural modernista, havia também uma vertente moderada, que acreditava em uma arquitetura que não fosse modernista mas que ainda assim preservasse todo o valor que a arquitetura, enquanto espaço, pode proporcionar. O próximo passo da arquitetura pós-moderna foi adaptar seus edifícios a um elemento que se apresentava como uma atenuante da

arquitetura moderna, o custo de execução. O autor finaliza seu texto enfatizando que o estruturalismo, devido sua posição categórica e considerado inicialmente um grande meio pelo qual a arquitetura pós-moderna se desenvolveu, aparece hoje como um inimigo; sua posição enfatiza um ponto muito discutido na arquitetura que é a forma / função, e que em sua opinião, deve ser desmistificado em prol da qualidade. “Estrutura e função são falsas oposições; precisam ser conciliadas.” (COLQUUNOUN, 2004, p.240)

Com a mesma linha de abordagem sobre a estética e a qualidade prática dentro da arquitetura, Vilanova Artigas, em seu estudo intitulado ‘O Desenho’, reflete sobre a técnica e a arte na arquitetura. Expondo as origens da palavra ‘desenho’, e demais considerações que, por se tratar de uma aula expositiva, procura orientar sobre temas que competem ao arquiteto em seu ofício, Artigas parte de um ponto de vista estético para expor as noções de busca artística dentro da arquitetura. A arte, segundo seu texto, ocorre de maneira simultânea ao desenvolvimento tecnológico, e cria invariavelmente uma dinamização estética.

Não esperem que eu tome partido contra as técnicas. Muito ao contrário, julgo que frente a elas, os arquitetos e os artistas viram ampliado o seu repertório formal assim como se ampliaram seus meios de realizar. Alinho-me entre os que estão convictos de que a máquina permite à arte uma função renovada na sociedade. É esta, aliás, a tese que pretendo experimentar aqui, aproveitando a oportunidade para tecer considerações em torno do desenho, linguagem da arquitetura e da técnica.

(ARTIGAS, 1967, p.01)

O discurso em torno da máquina e sua possível substituição da arte nas representações culturais se estende ao longo do trabalho, e como vemos na citação acima, o arquiteto estava correto em sua afirmação de que a tecnologia, e conseqüentemente a máquina que a suporta, possibilitou recursos inéditos e cada vez mais ilimitados à expressão arquitetônica, fazendo desta suposição, de que a estética se renderia a produção em massa, apenas uma especulação; um impulso momentâneo dos que visualizavam mais um crescimento fleumático e racional do que de fato ‘humano’ da cultura moderna. É certo que a linha modernista dentro da

arquitetura, se inclinava muito mais para o pensamento pragmático e funcional do que para elaborações ornamentais, mas, como já mencionado anteriormente, mesmo assim este estilo possuía sua representação estética. Estética esta que certamente continuará sendo aplicada ao longo da arquitetura como detentora de uma linha apurada e conceituada.

Artigas coloca o industrialismo e o pensamento romântico, assim como Colquhoun coloca o historicismo e o romantismo, como grandes adversários e respectivos representantes da técnica e da estética dentro da modernidade. Esta disputa conceitual entre tecnologia e arte, se a analisarmos simultaneamente no campo da arquitetura, ocorreria entre os movimentos *Art Déco* e moderno, mas hoje certamente atinge um grau de comparação muito mais direto, devido suas semelhanças estruturais, se aplicada entre o modernismo e o pós-modernismo. De qualquer maneira, para Artigas esta é uma posição que vai exatamente contra os princípios de uma arquitetura equilibrada, o homem que reproduziu, não apenas com palavras, a frase ‘é preciso fazer os pontos de apoio cantar’, sabia, assim como outros arquitetos brasileiros, utilizar as informações de todas as correntes comportamentais, sem preconceito, em prol e benefício da própria arquitetura.

O conflito entre a técnica e a arte prevalece até hoje. Ele desaparecerá na medida em que a arte for reconhecida como linguagem dos desígnios do homem. A consciência humana, com seu lado racional, não tem sido convenientemente interpretada como um inteiro, mas como a soma de duas metades. Aos artistas, principalmente, compete conhecer esta dicotomia para ultrapassá-la. (ARTIGAS, 1967, p.06)

Como estamos vendo, a estética e a tecnologia utilizada na arquitetura contemporânea apesar de não parecer possuir alguma relação com as arquiteturas realizadas no fim do século XVIII, tem sua origem, ou melhor seu embrião, exatamente neste período. O ímpeto de inovação natural ao homem, e necessária a sua evolução, já havia sido representada anteriormente na arquitetura através dos edifícios góticos. No aspecto estrutural, a evolução destes edifícios é inegável, porém a arquitetura gótica se fundamentou muito mais em como



usar os materiais existentes do que de fato buscar novos, o que coloca esta arquitetura como ápice da evolução estrutural do período clássico. De maneira semelhante se apresenta a arquitetura contemporânea com relação à arquitetura moderna, apesar de as tecnologias evoluírem e se subdividirem em diversos tipos de materiais com muito mais velocidade, a base da arquitetura produzida a partir do movimento moderno esta no domínio do ferro e do aço. Os materiais mais avançados utilizados nas estruturas contemporâneas apesar de possuírem melhores características físicas, ainda utilizam como princípio a manipulação do aço, e não apenas na arquitetura, mas principalmente na produção industrial dos materiais mais diversos, surpreendeu e dinamizou o mercado mundial de tal maneira que podemos dizer que a globalização tão mencionada hoje se iniciou há 200 anos; e tão difícil quanto a tarefa de se criar um material muitas vezes mais resistente do que o aço, é criar uma revolução sócio-cultural tão dinâmica e surpreendente como a que ocorreu na época em questão.

Pode –se constatar que o aprimoramento de técnicas construtivas significa mais para a representação simbólica da arquitetura do que de fato a descoberta de novos materiais, e a questão técnica e estética da arquitetura, como proposto por ambos os autores, Artigas e Colquhoun, quando unificada alcança um significado simbólico muito mais complexo nos edifícios do que a função primordial a que eles se propõem, ou seja, como Aldo Rossi coloca, cria-se uma perspectiva ritual e mitológica que tem como função a criação de identidades culturais revisadas e remetentes a nosso passado histórico, que nos tempos atuais, particularmente, trabalha em planos simbólicos variados, ou seja, os temas pelos quais a arquitetura tenta se representar não seguem regras comuns: residências ecléticas, edifícios neoclássicos, monumentos orgânicos e assim por diante. A única tendência em comum da arquitetura pós-moderna é a sobreposição.

A evolução nos meios de comunicação que Harvey afirma ser muito influente a pós-modernidade, se formou como uma consequência da industrialização e possibilitou a

influência de culturas completamente diferentes e desconhecidas umas às outras; Umberto Eco em seu livro 'A forma do conteúdo' trata da pesquisa de como os signos se estabelecem na sociedade, que posição eles ocupam em nosso cotidiano, nos ajudando a compreender as conseqüências desta arquitetura em que vivemos enquanto um dos meios pelo qual a cultura se comunica com a sociedade.

Através de uma abordagem semiótica, Eco busca estudar todos os aspectos da cultura como processos comunicacionais, e o tempo todo é estabelecido um paralelo entre os signos e a comunicação entre os povos. Tentando teorizar como se procede a leitura das formas pelas pessoas e como surge o interesse de leitores que buscam e interpretam o significado dos objetos, Eco coloca que toda cultura é comunicação, e só existe humanidade e sociabilidade quando se estabelecem relações comunicacionais, a cultura não é tratada por ele apenas no sentido material, mas o simples fato de se denominar nomes e funções para objetos gerando uma melhor comunicação já é considerado cultura, o que de fato estaria muito mais ligado ao campo da lingüística do que da semiótica, mas de qualquer maneira não deixa de estar ligado às conformações culturais.

Quando tratamos de objetos na arquitetura onde o partido estético é fundamental a sua função cultural, e como vimos ao longo dos textos, também a sua função econômica e social, temos necessariamente de entrar em seus temas de abordagem para analisar exatamente qual é seu 'público alvo'.

Sendo nosso tema a estrutura, não necessariamente, mas na maioria das vezes, pode-se associar este partido a grandes vãos e dimensões expandidas com relação as usuais, o que nos remete diretamente aos monumentos citados por Rossi. Certamente objetos de grande porte têm grande representação cultural nas grandes cidades contemporâneas, porém não podemos generalizar como estes sendo os únicos signos arquitetônicos dentro das cidades. De qualquer maneira ao analisarmos os monumentos contemporâneos percebemos que seu intuito é ser o

mais universal possível, ter a capacidade de ser reconhecido, aceito e consumível por qualquer cultura, de modo que a simbologia contemporânea transgride o efeito nacional mencionado por Rossi e busca um efeito global, de maior impacto, revelando assim estes projetos como os de maior alcance comunicativo; onde as simbologias utilizadas tentam não apenas se manter em um campo histórico-cultural, mas em imagens subliminares ligadas a natureza e temas orgânicos, ou seja, histórico-natural, um tema comum a todos.

A idéia de símbolo não se apresenta como a mais apropriada para analisar estes objetos, porém, o que estes grandes projetos que utilizam estruturas complexas para se expressar buscam, é um simbolismo praticamente inédito dentro da arquitetura, e portanto de teor muito forte, tenha ele sua estrutura aparente ou não, como no caso do Museu Guggenheim em Bilbao onde a estrutura não está exposta, há sempre uma busca, não apenas de impacto e admiração por suas dimensões, mas de reconhecimento prévio daquelas formas. Para Carl G. Jung, um símbolo é interpretado pelo ser humano como uma forma inerente ao seu repertório, e que em alguma circunstância similar, aquela experiência já foi absorvida, porém não pôde ser reconhecida, daí a condição de o símbolo estar presente de forma subconsciente, causando alguma familiaridade com o objeto, mas não sendo diretamente reconhecido. “Uma palavra ou imagem é simbólica quando implica alguma coisa além de significado manifesto e imediato” (JUNG, 2002, P.20).

Este seria o atrativo implícito na nova arquitetura, e por mais que o capital simbólico colocado por Jencks, busque objetos inéditos, estes objetos devem conter um teor distinto, requintado para se representar, teor este que ficou ‘convencionado’ como neoclássico nas habitações e orgânico nos monumentos, pelo menos até agora.

Voltando ao estudo de Eco vemos que ele trata da questão arquitetônica como sendo de caráter prioritariamente estético, aonde engenheiros teriam a mesma capacidade de elaboração dos objetos porém com a ausência de estética, conseqüentemente sem nenhum

significado cultural. “Arquitetura consistiria em articular espaços, os quais também podem permitir funções práticas, mas são, antes de mais nada auto reflexividade estética.”(ECO, 1974, p. 138). É uma analogia imediatista, porém não erronia de arquitetura, mas deve se levar em consideração que o foco de seus estudos é a semiótica e não a arquitetura, assim como muitos dos demais autores analisados até agora. Mesmo sendo este o objetivo final de Eco, a semiótica, seus estudos de arquitetura vão um pouco mais além, o processo de criação e concepção é subdivido em articulações e disposições espaciais segundo o que ele chama de sistema de oposições, cujo fim último é comunicar. Seria um sistema de unidades culturais que representa a forma do conteúdo; por exemplo, uma coluna não deve ser tratada como um elemento estrutural, não comunica funções possíveis, é um elemento neutro que contribui na morfologia do objeto, é usado o Paternon como referência para explicar esta conotação formal, onde as colunas fazem parte do significado arquitetônico, não sendo, ou não devendo ser, interpretado pelo leitor em nenhum momento como estrutura e sim como forma. A coluna em si emana alguns traços morfológicos comum a todos, como a verticalidade, este seria seu traço semântico. As conotações de todas as peças separadamente devem ser divididas em três espécies:

- Conotações arquitetônicas
- Conotações históricas
- Conotações estéticas

Esta subdivisão ajudaria a compreender melhor o significado de cada peça do conjunto sendo, portanto, mais precisa a leitura do projeto e seu resultado final. A substituição de estruturas simples por elementos simbólicos é o principio fundamental desta arquitetura pós-moderna que se baseia em soluções extraordinárias para se expressar, com a utilização de um simbolismo orgânico, vemos na história passada da arquitetura poucos exemplos destes, como as catedrais góticas e alguns outros arquitetos lúdicos, mas certamente, devido o

desenvolvimento tecnológico do último século, nenhum deles se aproximou de soluções semelhantes.

Como visto no início do texto, a arquitetura moderna se desenvolveu como consequência de um processo muito mais longo do que sua efetiva existência, e talvez pelo fato de sua história ocorrer praticamente toda dentro do século XX, período de miscigenação e modificação cultural ápice da modernidade, que sua integridade e dogmatismo inicial tenham se desmembrado e modificado tanto em tão pouco tempo se comparado com outros estilos. Afinal apesar de viver grande influência da produção maciça das indústrias, a arquitetura ainda se inseria no campo das artes, e neste caso as produções deveriam acompanhar não apenas a evolução tecnológica como também a evolução cultural, e esta última não se mostrou nada estável ao longo do século.



Complementando os estudos prévios de maneira empírica, serão apresentados neste capítulo quatro objetos de estudos, dois situados no Brasil, e dois situados em território estrangeiro, sendo que os dois primeiros de cada localidade utilizam enfaticamente a tecnologia do concreto e os dois últimos priorizam a tecnologia do aço, porém, notam-se claramente em todos os casos, que apesar de alguns tenderem para um determinado sistema estrutural, suas estruturas estão fundamentadas em sistemas híbridos.

Serão revisados as propriedades físicas dos materiais (agora aplicados de fato em um edifício), seus funcionamentos, seus processos construtivos e projetuais, e por último será feita uma análise semântica e conclusiva de como determinada obra se insere no tema em questão, integrando as diferentes áreas abordadas durante todo o trabalho.

#### 4.1 – Catedral de Brasília

---

A handwritten mark consisting of a horizontal line with a stylized, curved flourish above it, resembling a signature or a specific symbol.



A catedral de Brasília, projetada por Oscar Niemeyer, assim como todos os demais monumentos públicos construídos com o nascimento da cidade, teve um teor estético intimamente ligado a sua estrutura, e buscou, dentre tantos outros edifícios que tiveram de ser construídos em tempo limitado, um lugar de maior destaque; se trata do edifício representativo da igreja situado dentro da cidade representativa do estado.

A criação de Brasília em muitos aspectos se liga a biografia de Niemeyer.

Em uma primeira fase, sem um partido arquitetônico verdadeiramente definido, Niemeyer trabalhava em seus projetos a busca, de maneira tímida se comparada a seus projetos mais consagrados, das curvas em meio às linhas modernas. O modernismo buscava em todos os lugares ganhar maior espaço dentro da arquitetura, tentava atingir uma posição privilegiada perante os demais estilos. Lúcio Costa, maior teórico defensor do modernismo no Brasil, co-autor junto de Niemeyer no projeto de Brasília e anos antes mentor do próprio Niemeyer, buscava em seus estudos associar as linhas modernas à arquitetura vernácula; e foi em meio a todos estes estilos categóricos, que Niemeyer, após uma viagem à Europa, começou a desenvolver de fato seu estilo dentro da arquitetura, uma liberdade formal longe de qualquer academicismo ou conceito até então trabalhado pelos pensadores da área.

Antes de sua viagem, em 1943, seus estudos já apresentavam certo aprimoramento estrutural na Igreja de São Francisco de Assis, na Pampulha, obra composta de sucessivas cascas trabalhadas em apenas uma direção, uma estrutura não muito complexa, mas que se mostrou além das arquiteturas que vinham brigando por espaço na época.

[...] a mudança de estilo que pode ser notada a partir de 1955 não se deve a uma mudança nos princípios, mas somente ao aprofundamento da reflexão a um amadurecimento que favoreceu a eclosão de um equilíbrio maior. (BRUAND, 1997, p.152)

A exploração plástica do concreto armado de fato se iniciou na Pampulha, mas durante algum tempo Niemeyer se ateu a resolver melhor as estruturas sobre pilotis, estudando

pilares em ‘V’ e em ‘W’, soluções que buscavam nada mais do que livrar o segundo pavimento de colunas. Seus projetos se mantinham ainda muito ligados ao modernismo de Le Corbusier, mas de modo paralelo Niemeyer produzia trabalhos com coberturas mais plásticas, normalmente cascas, desenhos que se desenvolveriam com maior propriedade até estudos mais complexos.



**Figura 4.1.1** – Cobertura para o Auditório de um Colégio Estadual, 1954, Belo Horizonte – Um dos grandes exemplos da curva no trabalho de Niemeyer. Proporção, sutileza e continuidade fazem desta cobertura em superfície-ativa um bom exemplo da plasticidade buscada e obtida pelo arquiteto utilizando o concreto armado.

De qualquer maneira, após o anúncio desta segunda fase em 1955, declarada pelo próprio arquiteto na revista *Módulo* de fevereiro de 1958, houve a oportunidade de em 1956, a convite de Juscelino Kubitschek, presidente em exercício e há tempos conhecido do arquiteto, para execução dos principais edifícios e coordenação geral dos trabalhos para a nova capital federal, Brasília. Este convite contrariava os regulamentos que previam a abertura de um concurso. Niemeyer aceitou o trabalho, porém, sabendo da responsabilidade que assumiria, sugeriu a abertura de um concurso nacional para a execução do plano piloto da metrópole, cujo resultado foi anunciado em 16 de março de 1957 e o vencedor foi seu parceiro Lúcio Costa.

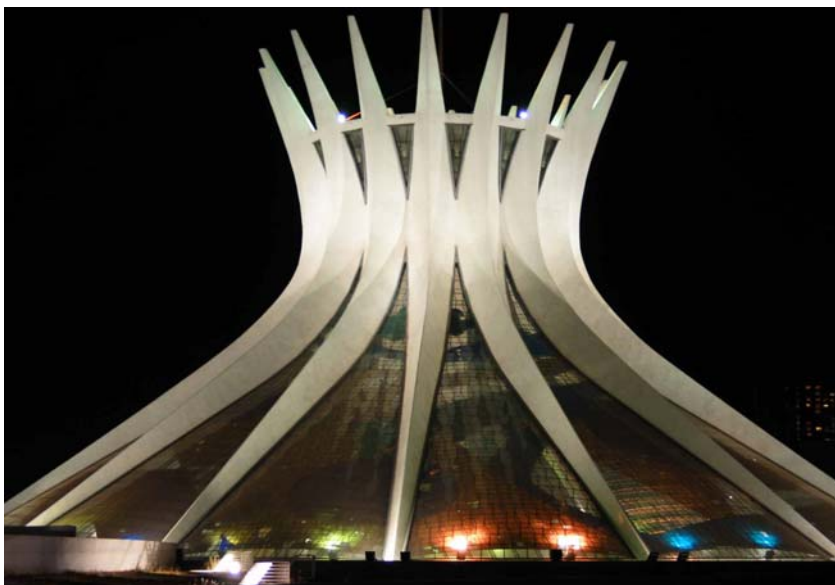
Dentre os edifícios executados por Niemeyer podem-se notar três tipologias bem distintas, os palácios de pórticos, os edifícios verticais, estes comerciais ou residenciais com

composições de volumes mas linhas modernas bem visíveis e, por último, os edifícios religiosos de plantas centradas, onde se enquadra nosso objeto de estudo.

Dos edifícios religiosos, apenas a catedral se destaca como um edifício de dimensão realmente significativa para uma análise estrutural, os demais edifícios se tratam de capelas menores. Mas certamente este, entre todos os demais executados na cidade, foi de grande relevância para o próprio arquiteto, que demonstrava satisfação em executar edifícios voltados para grandes espaços públicos. Aos engenheiros, calculistas e executores apresentava-se um desafio, tiveram de vencer ali a dificuldade de executar uma estrutura, com seções variadas, que não era parte, mas o todo do edifício.

A busca de uma forma única e limpa que representasse de maneira imponente e diferenciada a catedral entre os demais edifícios, resultou em uma planta circular onde o espaço de permanência se situava em um nível abaixo do solo; a imponência que o programa exigia se representava na parte da cobertura, uma escultura que pretendia a leveza de uma catedral gótica com a pureza de um conjunto minimalista. O que de fato foi alcançado. As formas orgânicas e sugestivas compostas por uma seqüência de elementos estruturais dispostos ao redor do eixo da planta, não só exprimem a idéia de uma coroa de espinhos, como também se lançam aos céus. Aliada a sensação interna de um ambiente lúdico, onde a iluminação invade o espaço por todos os lados, este edifício busca um simbolismo que toda catedral aspira: iluminação e altura.

O Acesso da Catedral é feito pelo subsolo, em uma solução que ao mesmo tempo preserva a unidade estética do edifício e explora a estimulação sensitiva. O usuário é induzindo a um ambiente escuro que se abre num interior extremamente iluminado, aumentando a sensação de amplitude do edifício



**Figura 4.1.2** – Catedral de Brasília – Dentre muitos outros projetos de caráter fundamentalmente estético, este é o que mais desvincula a estrutura da vedação, atingindo como nenhuma outra obra de Niemeyer uma linha visceral, ativa e ainda, com muita elegância, figurativa à sua função.

Em sua sistemática projetual que privilegia a estrutura, Niemeyer considera que uma obra bem pensada necessariamente depende da perfeita interação entre o arquiteto e o engenheiro calculista; em um artigo publicado na revista *Módulo* o arquiteto cita:

“Não fosse a arquitetura que preferimos, não fosse o aspecto leve e variado que apresenta, até hoje, o trabalho do engenheiro estaria limitado a pequenos vãos, sufocado pelos preconceitos de falsa economia, e essa timidez diante do vão maior, que nada tem a ver com a obra de arte. E os engenheiros estariam desinteressados do próprio trabalho, julgando-o secundário. Um simples complemento da arquitetura.

E foi, vale a pena repeti-lo, com o arrojo dos seus projetos, com o aproveitamento de tudo que o concreto armado permite, da curva, inclusive, que tanto o caracteriza que surgiu o entendimento profissional desejado entre arquitetos e engenheiros e essa síntese arquitetural que marca a arquitetura contemporânea.”

(GALVANE, 2004, p.52apud NIEMEYER, 1992)

Com as obras iniciadas em 1959, na primeira fase que durou seis meses toda a estrutura foi executada, após esta primeira etapa, entre reinícios e atrasos, a obra foi finalmente concluída em 1967. Problemas financeiros e de ordem estética, mais especificamente quanto ao tipo de vedação que seria utilizado, estão entre as causas do atraso.

A opção de Niemeyer era a instalação de um vidro contínuo, isto se tornou inviável, sendo então executado uma armação de pouca espessura para que se ressaltasse ao máximo a leveza do edifício.

Neste projeto, como em muitos outros, Niemeyer se baseia na estrutura para desenvolver a unidade estética, e a escolha específica deste edifício entre tantos outros trabalhos passíveis de uma análise pertinente não foi acidental; a estrutura deste edifício, sem qualquer outro elemento que se funda visualmente, está muito bem delineada e isolada de qualquer outro elemento, superando muitas outras enquanto representação estética. A vedação do edifício se apresenta mais como uma necessidade do que como um complemento visual, o que explica a dificuldade de escolha de um sistema que não se mostrasse pesado demais, com linhas muito demarcadas entre cada peça da estrutura principal. Segundo o calculista estrutural Jose Carlos Sussekind, engenheiro que trabalhou em algumas obras mais recentes de Niemeyer, a estrutura da catedral de Brasília se define como um exemplo único de simplicidade estrutural aliada à estética:

[...] a mais completa interação arquitetura-estrutura no século 20. Em Brasília, esta a evidência de criação de uma catedral utilizando uma única peça curva (do chão rumo ao céu) repetida 16 vezes; uma construção sem laje viga ou pilar, apenas as 16 peças curvas, entremeadas de vitrais, fazendo as vezes de tudo[...]

(GALVANE, 2004, P.47 apud NIEMEYER, SUSSEKIND, 2002)

O calculista desta estrutura foi Joaquim Cardozo, engenheiro responsável pelo cálculo estrutural de muitas obras de Niemeyer. Parceiro do arquiteto desde 1941, nas obras da Pampulha, Cardozo, segundo o próprio Niemeyer, nunca se posicionou oposto a qualquer idéia que se mostrasse muito além dos padrões usuais do concreto, pelo contrário, uma vez entendida as linhas gerais dos projetos, o engenheiro tentava contribuir com soluções mais audazes em favor de uma estética arrojada. Cardozo foi responsável pelos cálculos estruturais dos projetos mais importantes de Brasília, a Catedral, Palácio da Alvorada, Palácio do

Planalto, Congresso Nacional, Palácio do Itamaraty e muitos outros fora de Brasília. Esta parceria de grande importância para arquitetura se encerrou em fevereiro de 1971, quando na execução do Pavilhão de Exposições da Gameleira, em Belo Horizonte, o desabamento de parte da construção, que estava sob responsabilidade de Cardozo, resultou na morte de 50 operários. O projeto era de Niemeyer. Cardozo teve seu cadastro junto ao Conselho de Regional de Engenharia (CREA) cancelado apesar de o Instituto de Arquitetos do Brasil e o Clube de Engenharia se mostrarem contra esta decisão.

Segundo Cardozo, também em depoimento à revista *Módulo*, os projetos da Catedral, do Museu da Cidade e do Itamaraty são os que mais lhe interessam do ponto de vista estrutural.

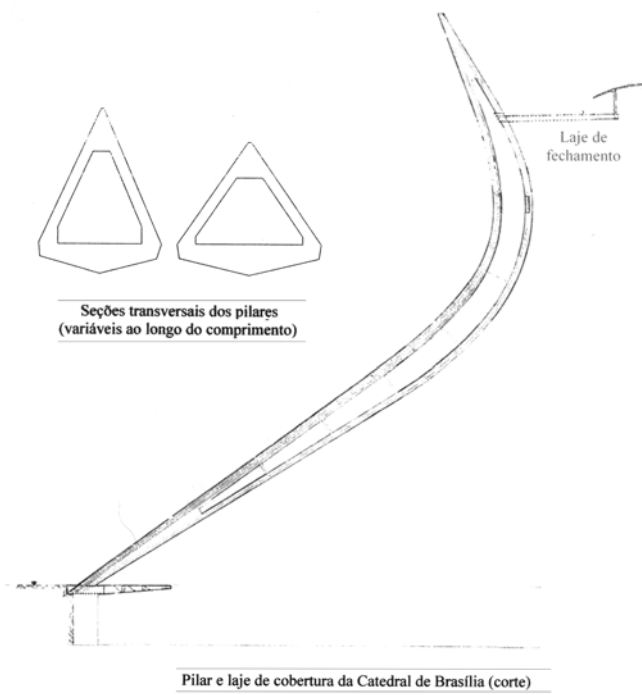
A estrutura, como dito anteriormente, consiste basicamente em 16 pilares de seção triangular, variável e vazada. Nas extremidades, tanto superior quanto inferior, os pilares ainda possuem seção triangular variável, porém preenchidas, maciças. Além dos pilares que absorvem os esforços verticais, existem dois anéis, um no nível inferior outro no superior, na união dos pilares, que absorvem os esforços horizontais. A complexidade da estrutura era tal que, segundo depoimento de funcionários da obra, as fôrmas só puderam ser executadas após desenho da mesma em escala 1:1 no canteiro de obras.

O fechamento da estrutura se concretizou através de painéis em fibra de vidro, inicialmente incolores, mas anos depois, executados pela artista plástica Marianne Peretti, os painéis ganharam cores e desenhos. A estrutura destes painéis é formada por treliças planas de aço que transferem à superestrutura, além do peso próprio, as sobrecargas de vento. No topo de edifício foi executada uma laje de cobertura que não possui função estrutural, apenas para vedação.

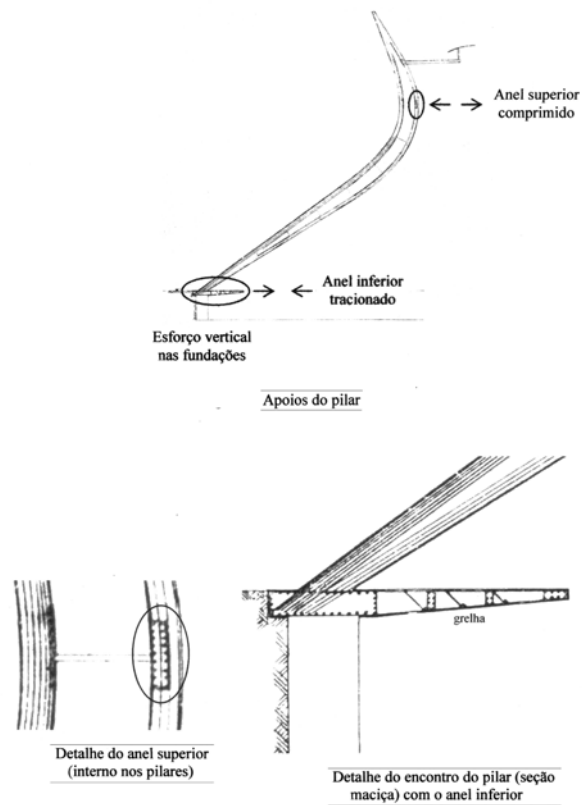


**Figura 4.1.3** – Catedral de Brasília – Com um acesso subterrâneo e muita iluminação em seu interior, a busca de uma ambientação lúdica atinge seu objetivo com simplicidade e ousadia formal.

Na base do edifício há um anel estrutural, cuja função é absorver os esforços verticais de tração e repassar às fundações apenas esforços verticais. Este anel inferior possui em seu diâmetro externo 60 metros e não é visível pelo lado externo, mantendo-se rente ao piso. Na parte superior do edifício há outro anel com função estrutural (fig.4.1.5), este trabalha apenas a compressão e seu diâmetro é de aproximadamente 13 metros. O anel superior se mantém interno aos pilares, exatamente no encontro dos mesmos se tornando assim invisível aos observadores, aos 20 metros de altura.



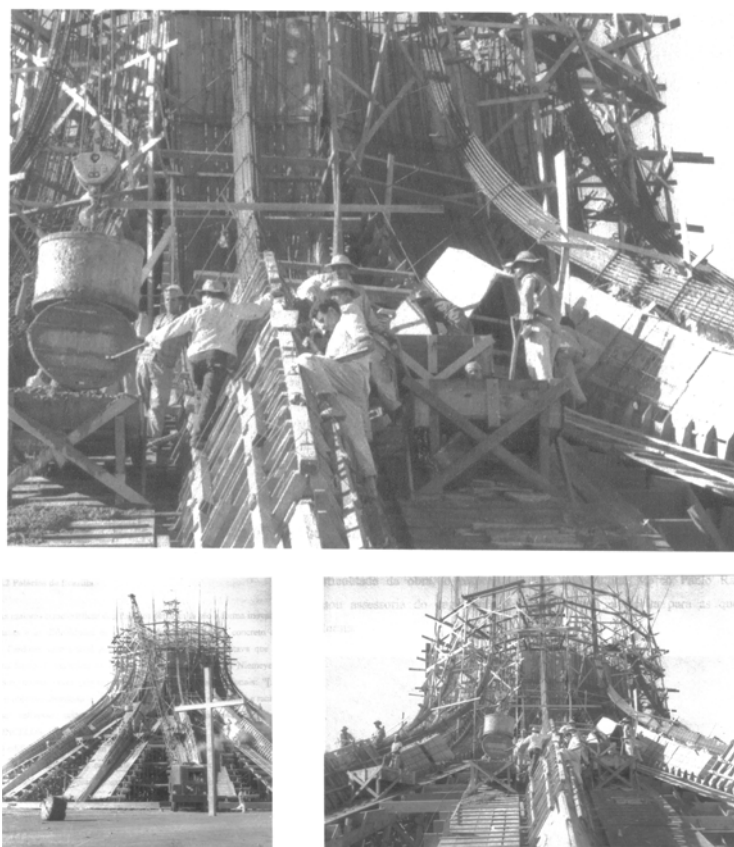
**Figura 4.1.4** – Detalhe dos Arcos



**Figura 4.1.5** – Detalhe dos Anéis de Estruturais



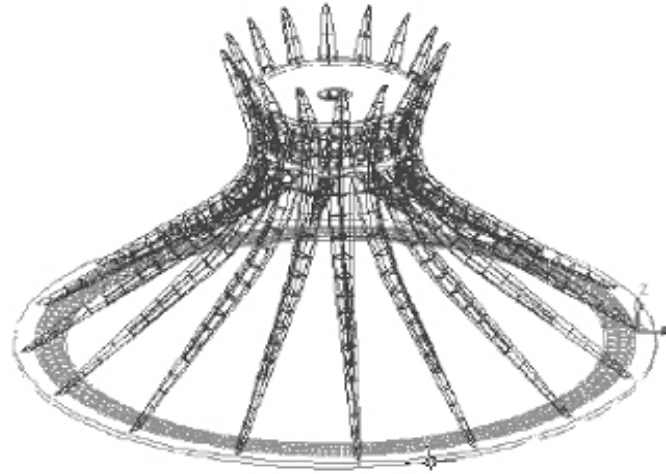
As barras de aço utilizadas no edifício são de uma polegada, 25,4mm. Para a execução, as peças foram divididas em 22 seções diferentes que vão do topo à base. Inicialmente com três barras, os pilares se encontram com o anel inferior possuindo 76 barras de uma polegada, não havendo a possibilidade, devido à dimensão das barras, de ser executada a amarração comum do aço, onde as barras são transpassadas, sendo então feita uma solda de topo nas mesmas. Um controle tecnológico rigoroso da solda foi executado; amostras retiradas durante a obra foram enviadas para o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) em São Paulo.



**Figura 4.1.6** – Construção das fôrmas e concretagem dos pilares.

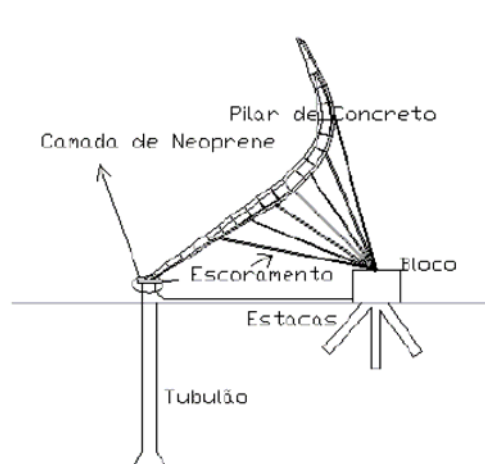
Trata-se praticamente de uma estrutura de aço recoberta por uma camada de concreto, característica comum nos projetos de Niemeyer. As estruturas finais são todas em

concreto armado, porém normalmente se tratam de estruturas metálicas autoportantes recobertas por concreto. Não que o concreto possua apenas a função de proteção do aço em toda a estrutura, porém sua contribuição estrutural se restringe a alguns pontos específicos de esforços compressivos.



**Figura 4.1.7** – Modelo tridimensional demonstrando as ferragens da estrutura.

Para apoio das fôrmas e concretagem dos pilares, como procedimento comum nestes tipos de edifícios, teve de ser executado uma estrutura auxiliar com escoras de aço tubular dispostas em forma de leque e apoiadas sobre um bloco de fundação independente (fig. 4.1.7), inutilizado ao final da concretagem.



**Figura 4.1.8** – Detalhe do escoramento das fôrmas.

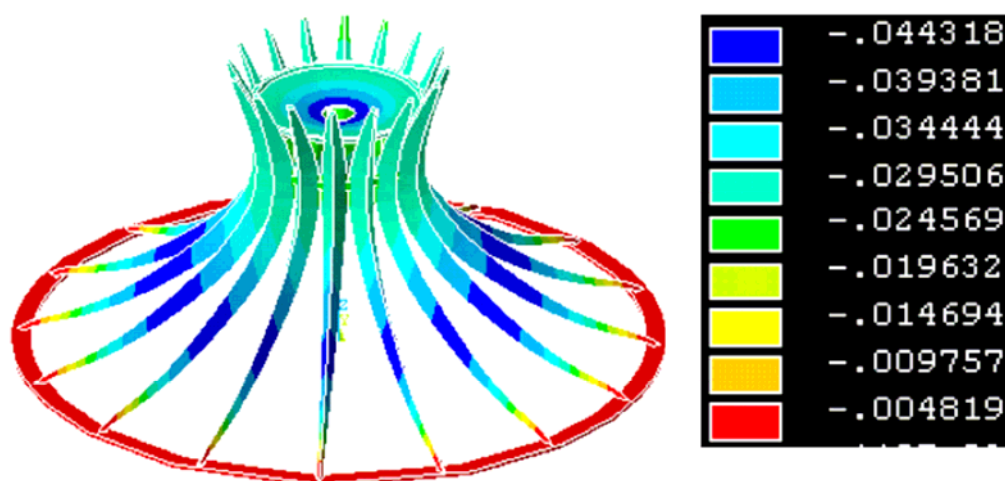
O arquiteto responsável pela obra, Carlos Magalhães, funcionário da empresa Novacap – Companhia Urbanizadora da Nova Capital do Brasil, em depoimento escrito, relata muito bem o funcionamento da estrutura:

Nos blocos de fundação nascem 16 pilares, um em cada bloco, que suportam o anel de onde saem as 16 colunas que marcam a catedral de Brasília. O anel de tração está separado dos pilares da infra-estrutura por placas de neoprene (50cm. x 50cm. x 2.5cm.). A função deste anel de tração é a de absorver os esforços horizontais transmitidos pelas 16 colunas. O neoprene impede que qualquer movimento horizontal do anel de tração seja transmitido para os pilares da infra-estrutura. As colunas emergem do anel de tração, maciças e delicadas, armadas com 70 vergalhões CA-50 de uma polegada. Em seguida as suas dimensões vão aumentando e o cálculo estrutural criou caixões perdidos, que evitam o aumento exagerado do peso da peça, mantendo as dimensões estabelecidas pelo arquiteto e a estabilidade da construção. As 16 colunas, ao mesmo tempo em que ganham altura, se aproximam e depois de se tocarem voltam a subir, afastando-se uma das outras, novamente maciças. No ponto em que se tocam, as colunas se apóiam em um anel que à compressão e impede que elas se fechem. (CLÍMACO, p.04 apud Magalhães, 2001)

Em 1987 foi feita a primeira reforma na Catedral. Nesta intervenção foram substituídos os primeiros vitrais incolores pelos atuais, coloridos por Marianne Peretti e os pilares da estrutura foram pintados de branco. A segunda intervenção ocorreu em 2000, onde houve a substituição dos vitrais em fibra de vidro por vidros especiais de Milão, que permitem a passagem de luz, porém impede a passagem de calor, foram mantidos as cores e os desenhos dos vitrais. Nesta segunda intervenção ainda foram instalados exaustores para aumentar a ventilação dentro do templo, foi feita nova impermeabilização do espelho d'água, que se situa sobre o anel estrutural inferior, e nova pintura na estrutura. Ambas as reformas, vale salientar, atenderam apenas a requisitos estéticos e funcionais, não carecendo em nenhum momento alterações ou reformas na estrutura.

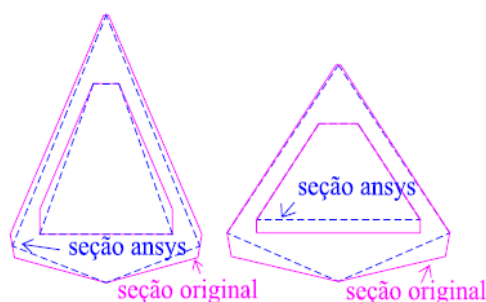
Com base em modelos tridimensionais pôde-se obter um diagrama dos esforços atuantes na estrutura da catedral. Adotando-se como base um concreto de  $f_{ck} = 21,0$  Mpa e um limite de escoamento do aço à tração em 435 Mpa, o Ph.D em estruturas João Carlos

Teatini de S. Clímaco, autor da análise à estrutura da catedral, chegou a conclusão de que os maiores esforços se concentram na base dos pilares, mesmo sendo estas de menor dimensão do que as demais seções do pilar, são as mais atuantes nos esforços da estrutura.



**Figura 4.1.9** - Modelo tridimensional para análise dos esforços na estrutura – As cores azuis demonstram menores esforços a as cores amarelas e vermelha, respectivamente, maiores esforços.

Utilizando o programa de computador 'Ansys', foi possível avaliar com precisão os pontos mais delicados da estrutura afim de, caso necessário, efetuar uma reforma da estrutura ou até executar uma manutenção preventiva da mesma. Com o resultado desta análise estrutural baseada em um modelo eletrônico, foi possível avaliar também quais as melhores distribuições de aço dentro dos pilares e quais as melhores formas para diminuição da seção dos mesmos.



**Figura 4.1.10** – Análise computacional de eficiência estrutural – Baseado no programa ansys o desenho tracejado em azul demonstra, comparativamente às formas originais, a melhor eficiência mecânica utilizando o mínimo de material para a seção dos pilares.

Segundo os resultados alcançados uma maior eficiência teria sido obtida caso os pilares tivessem ângulos mais agudos em suas seções.

Apesar de toda a tecnologia utilizada hoje para análise de estruturas, nota-se que a diferença de resultados teria sido mínima, e que apesar de o método contemporâneo dinamizar os processos construtivos em muito, os métodos usuais de cálculo das estruturas utilizados na década de 50 foram capaz de atingir os fins propostos a este edifício sem maiores problemas.

As formas deste edifício descarregam todas as cargas de maneira muito simples e direta ao solo, sendo aplicada uma força de compressão no anel superior, responsável por estabilizar a série de pilares que, por sua vez, transferem as cargas ao longo das peças até o solo, sendo a maior deformação das peças no ápice da curvatura, aonde segundo a análise tridimensional, as cargas chegaram a gerar 7,5cm de alteração; por último os vetores geram uma força de tração aplicada no anel inferior, que apoiado sobre a fundação, descarrega-os no solo.

Na questão semiótica, pode-se concluir que este edifício se porta como um conteúdo que encerra sua forma em si mesmo: simétrico, com planta circular e uniforme. E como pretendido sua continuidade encerra a leitura do espectador para cima, não existindo elementos que insinuem qualquer leitura mais dispersiva ou aleatória.

Apesar de se tratar de um edifício da década de 50, este exemplo de arquitetura, categoricamente moderna, se aplica sem restrições a uma tipologia pós-moderna, a carga simbólica, o estilo fluido e pretensioso, fugidio de conceitos estabelecidos pela cartilha modernista, ao menos no aspecto construtivo, o coloca a frente de seu tempo. Com relação ao quesito de espaço social, podemos ainda considerá-lo um edifício centralizador, porém mais do que modernista este é um conceito católico. Por se tratar de uma cidade inteira detentora de signos urbanos, certamente este é um dos signos de maior destaque, sua concepção extremamente forte e íntegra o faz um pólo organizador de todo aquele ambiente lúdico e imponente, que nada mais é do que a representação da soberania do homem sobre o meio. Assim como ele faz questão que o seja, dominante.

## 4.2 – Ponte JK

---



A cidade de Brasília, como exposto no capítulo anterior, teve seu início em uma prancheta, e assim como poucas outras cidades que tiveram a oportunidade de ser concebida em alguns anos a partir de um pedaço de terra e muito trabalho, esta cidade se tornou um atrativo turístico, mais do que isso, uma referência mundial de cidade modernista. Mas, apesar de carregar em sua essência o conceito moderno, Brasília, palco representativo da criatividade brasileira, recebeu no ano de 2002, entre seus pilotis de concreto armado e inúmeras lajes planas, uma estrutura digna das tecnologias mais modernas executada em aço; a Ponte Juscelino Kubitschek.

É certo que desde sua idéia embrionária o conceito de cidade modernista esteve onipresente na escala urbana de Brasília, mas, pelo fato do presidente Juscelino ter escolhido Oscar Niemeyer como principal articulador do projeto para a nova capital, Brasília se concretizou livremente permeada por linhas vanguardistas na escala dos edifícios. Isso não ocorreu de modo geral, porém, todos os edifícios que exigiram maior significado estético tiveram, pelas mãos de Niemeyer, um cuidado especial para que a simplicidade não fosse traduzida em apenas linhas retas, mas em curvas também.

A influência da arquitetura clássica é muito presente nos palácios de Brasília, condizendo exatamente com a fase pela qual passava o arquiteto criador deles, mas não pode se negar o ecletismo com que o contexto geral foi tratado, contexto este, que já mencionado anteriormente, seguiu uma ordem categórica de edifícios, palácios e catedrais; onde nos últimos dois respectivamente, dentro de uma linha mestra modernista, recebeu a influência da arquitetura clássica e influenciou a arquitetura pós-moderna.

Em cima destas linhas livres e despreocupadas da arquitetura pós-moderna, Alexandre Chan, arquiteto formado em 1965 pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), buscou desde o início de sua carreira uma maior integração entre arte, técnica e produção dentro da arquitetura. Com ênfase em trabalhos voltados para o controle de projetos



complementares, Chan foi cada vez mais se especializando em arquiteturas de grande porte, constam em seu currículo trabalhos como indústrias, shopping centers e grandes complexos, o que lhe conferiu maior intimidade com vãos maiores. Em um concurso realizado em 1998, Chan conquistou o primeiro prêmio para execução da Ponte JK.

No edital do concurso referências como: ‘monumentalidade e marco de articulação urbana’, exigia do projeto maior presença estética e, devido à extensão da ponte, 1200m., uma solução estrutural mais elaborada, o que fez com que constasse também no edital a necessidade de um engenheiro colaborador na execução do projeto. Dentre as especificações técnicas fornecidas dois itens ajudaram a guiar a concepção do projeto, a ausência de necessidade de um tabuleiro alto, apenas 20m. acima do nível da água, e o levantamento de poucos pontos de sondagem do fundo, exigindo que pelo menos um dos vãos fosse mais ousado.

Com especificações técnicas voltadas para uma estrutura que vencesse grandes vãos, intuitivamente, o arquiteto optou pela utilização dos sistemas mais eficientes para vencerem grandes vãos e que consomem a menor quantidade de material: arcos metálicos em caixão perdido e cabos. Mas apesar do sistema utilizado nos arcos ser muito leve e aparentemente menos oneroso, uma vez que todo o conjunto do sistema estrutural é inovador, tendo os arcos dispostos de modo assimétrico em relação ao tabuleiro (fig.4.2.1), as adequações necessárias aos demais elementos de apoio para que estes se adaptassem a toda a obra, tornaram as demais peças estruturais muito densas rígidas.

De fato a opção estrutural obteve êxito ao resolver com grande eloquência material, se assim pode-se definir, o programa proposto no concurso. Por se tratar de uma tipologia de obra que a muito não se via no Brasil, com ousadia estética, e devido suas dimensões inéditas neste tipo de obra, a Ponte JK re-inaugura um período de grandiosidade arquitetônica que se

mostrou incentivador na obtenção das tecnologias mais avançadas em processamento e montagem do aço.



**Figura 4.2.1** – Ponte JK – Imagem de todo conjunto revelando a sutileza e a limpeza estética que se contrapõe à extrema complexidade dos fluxos de força.

O aspecto final se mostrou leve e dinâmico, a utilização de elementos comuns à maioria das pontes torna este projeto mais do que uma inovação visual sem parâmetros, uma releitura de formas bem conhecidas em pontes de maneira inusitada e criativa. Como uma brincadeira de parábolas suaves, a observação do objeto à longa distância revela uma dimensão imponente, mas não opressora. A identificação imediata e a leitura rápida das formas, tanto neste como nos demais projetos apresentados, expõe constantemente o significado de reconhecimento do objeto, como uma conclusão precipitada de intimidade com o item admirado.

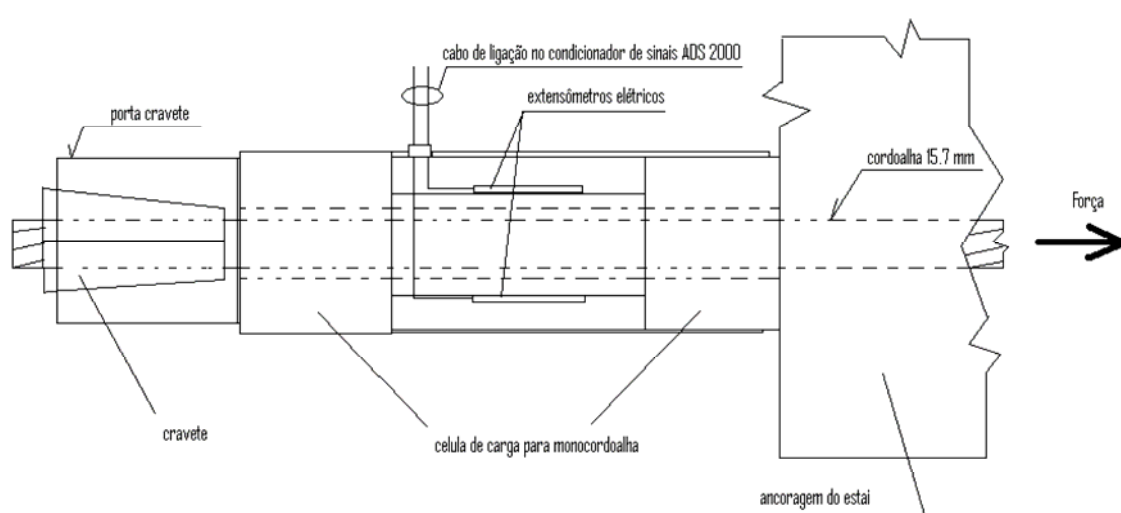
No aspecto de composição estrutural, a ponte se mostra claramente dividida em dois materiais, em duas categorias estruturais diversas. As tensões muito específicas aplicadas

nesta estrutura a tornaram portadora dos maiores esforços horizontais já encontrados em pontes, o que estimulou a execução dos cálculos estruturais da metálica em um escritório dinamarquês. Pode se considerar esta uma estrutura muito mais complicada em seus cálculos e em sua fundação, ou especificamente no nível abaixo do tabuleiro, do que de fato em sua execução da pista para cima.

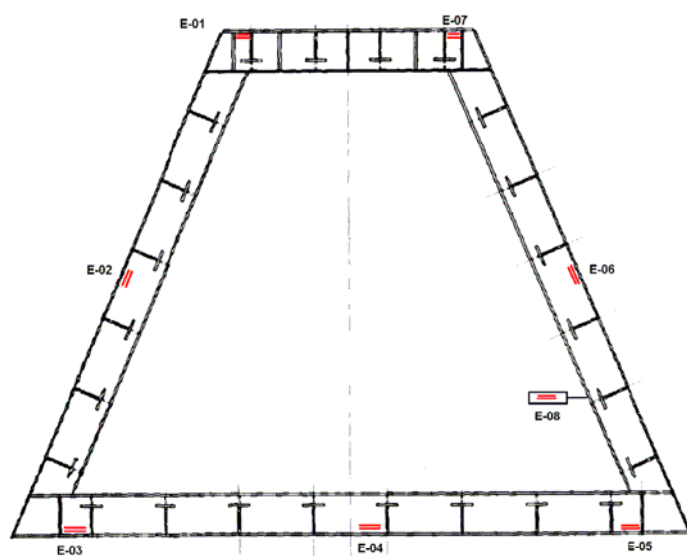
A obra em metálica possui esta característica muito marcante, uma vez que todos os cálculos definiram as dimensões e as posições da estrutura e o projeto foi executado com precisão, em milímetros não metros, a obra se conclui sem maiores alterações, dificilmente ocorre algum problema que tenha de ser resolvido posteriormente, o que de fato não ocorre com o concreto armado, deveria mas não ocorre; normalmente os projetos em concreto armado resolvem uma estrutura final, mas não como executa-la, a montagem das fôrmas, o recebimento e atraso de diversos materiais, a utilização de mão-de-obra diferente para cada processo executivo, tudo isso gera a possibilidade de se decidir no local a melhor maneira de se executar tal edifício, e portanto, perda de tempo. No caso do aço as peças chegam acabadas ao canteiro de obra, prontas para serem montadas, sem gerar possibilidades de maiores decisões executivas ou atrasos.

Com toda a particularidade dos esforços horizontais, os primeiros pilares de apoio e a base dos arcos, até a altura do tabuleiro, foram executados em concreto armado, auxiliando melhor, devido à baixa deformidade do concreto, a conter os empuxos ocasionados pelos tirantes assimétricos. O tabuleiro foi executado em aço (fig.4.2.5), este material se adequaria melhor às cargas de tração que se aplicam em várias direções sobre seu volume com maior flexibilidade. Os três vãos compostos pelos arcos tratam-se de vãos isostáticos, o que criou a necessidade de uma plataforma específica para união dos tabuleiros, sendo assim, nos dois apoios centrais dos arcos foram executadas duas mesas de quarenta metros (40m) de comprimento, ambas apoiadas em pilares auxiliares de concreto armado. Deste modo

garantiu-se a perfeita união das duas pistas, mantendo a estabilidade do tabuleiro. Os arcos e tirantes, além de serem as peças que definem o sistema estrutural proposto, se tratam dos elementos mais sujeitos a deformação de toda a ponte. Cada arco possui 16 estais dispostos a aproximadamente 20m. uns dos outros, os estais são compostos por cordoalhas de 15,7mm. de espessura, galvanizadas, protegidas por uma cera e recoberta por bainhas individuais a fim de protegê-los contra corrosões. A ancoragem inferior dos estais é fixa, porém a ancoragem superior (fig.4.2.2), como em qualquer estrutura atirantada, possui regulagem, o que possibilita o ajuste de tensão/alongamento de cada tirante. Os arcos metálicos vencem um vão de 240m. cada, somando um vão estaiado de 720m., sendo os vãos restantes apoiados por pilares de concreto. A parte metálica dos arcos possui seção trapezoidal (fig 4.2.3) composta de perfis 'T' e espessas chapas de aço soldadas. Uma vez que a disposição dos perfis 'T' está no sentido longitudinal, formou-se uma estrutura rígida às forças de cisalhamento e ao mesmo tempo elástica às forças de flexotorção. O arco é enrijecido transversalmente a cada três 3m. com outro perfil 'T' de união dos módulos, também através de soldagem.



**Figura 4.2.2** - Detalhe da ancoragem superior dos cabos.



**Figura 4.2.3** – Detalhe da seção dos arcos.

Devido as constantes deformações pelas quais esta estrutura esta sujeita, sensores foram instalados para auxiliar a montagem e monitorar a edificação depois de concluída a obra. Os sensores monitoram a ponte quanto ao deslocamento dos blocos, força nos estais, temperatura, velocidade do vento e acelerações, garantindo o perfeito acompanhamento da estática e da dinâmica da edificação. O monitoramento da ponte foi acompanhado por uma equipe da Universidade de São Paulo (USP) e pelas empresas responsáveis Usiminas e Via Dragados durante dois anos para avaliar a segurança da estrutura, sendo feito agora apenas monitoramento para manutenção da mesma.

As dificuldades construtivas da obra se iniciaram quando efetuado o término da sondagem do terreno. Com uma grande variação nos tipos de solo, 13 diferentes, dentre eles alguns como o quartzito, extremamente duro e que exige que sejam feitas fissuras na rocha para ancoragem da fundação, outros inversamente proporcionais que exigiram estacas fincadas a sessenta e cinco metros de profundidade, somado aos esforços incomuns, no sentido horizontal, tiveram de ser executados blocos apoiados sobre até 90 estacas sendo a maioria delas inclinadas.

Passada a primeira fase de execução da obra, foram feitas as concretagens dos pilares, os pilares de acesso da ponte tem a forma de losango e não possuem características muito específicas. Os pilares que apóiam a saída dos arcos (fig.4.2.4), como mencionado acima, se estendem do bloco da fundação até a altura do tabuleiro, e possuem a mesma inclinação dos arcos, mantendo a linearidade estética dos mesmos. O volume de concreto utilizado foi de 38.900 m<sup>3</sup>.

Para a execução dos arcos foram erguidas torres metálicas para apoio completo das peças até que as mesmas se encontrassem no ponto mais alto do arco (fig 4.2.6). A soldagem para fechamento do arco ocorreu durante o período noturno para que as condições de temperatura fossem as ideais. O aço utilizado nas peças foi o SAC 50 da Usiminas, um aço com alta resistência estrutural e a corrosão, seu limite de escoamento é 350 Mpa. Foram utilizadas 12.500 toneladas de aço para a estrutura principal e 1.300 toneladas para a estrutura auxiliar.

Para a fabricação da estrutura metálica foi utilizado o processo de produção assessorado por computador e certamente os modelos tridimensionais auxiliaram o cálculo estrutural e também melhor definiram todo o processo de montagem da estrutura. Os 69 módulos de cada arco foram executados com a composição de diversos perfis metálicos industrializados e pré-montados na própria usina, em Ipatinga (MG), para depois ser finalmente instalado '*in locu*'.



**Figura 4.2.4** – (1,2) Base em concreto sendo construída. (3,4) Mesa para apoio das pistas independentes. (5,6) Apoio das pistas ainda sobre escoras.



**Figura 4.2.5** – (1) Ponte rolante no canteiro de obras. (2) Vista aérea da pista. (3) Peça para ancoragem das seções da mesa. (4) Arranque de ancoragem do cabo à pista.

O içamento da estrutura foi feito por guias e pontes rolantes. Na beira do lago se situavam as pontes rolantes com capacidade para 20 toneladas, estas carregavam as peças até balsas flutuantes; guias com capacidade 220 toneladas e lanças medindo 75m, apoiadas sobre o próprio tabuleiro, ergueram a maior parte do arco. Para erguer as últimas peças de fechamento foi utilizada uma grua com capacidade para 350 toneladas e com uma lança de 90m de comprimento. O custo estimado da obra foi de R\$ 78.900.000,00 e o prazo de execução foi de aproximadamente dois anos e meio.



**Figura 4.2.6** – (1,2) Andaimos para apoio dos arcos na fase de execução. (3) Ancoragem da parte metálica do arco à base de concreto. (4,5,6) Assentamento das seções do arco.

A execução de uma obra como esta em Brasília merece um cuidado maior do que qualquer outro signo urbano deste gênero em uma cidade desconhecida. Ele não simplesmente se insere em um meio urbano para gerar a imagem de uma cidade, ele se agrega a uma imagem já consagrada. O teor extremamente tecnológico desta edificação se contrasta, e este deve ter sido o objetivo, com a tecnologia de 40 anos atrás aplicada em Brasília, certamente uma tecnologia que até hoje serve de referência, porém anterior a que foi implantada em 2002. Este signo exhibe, com dignidade, o tempo em que a cidade se inseriu e o tempo que a arquitetura de vanguarda busca.

As formas deste projeto enaltecem com maior destaque tendências implícitas em todos os demais projetos, a conciliação de linhas e curvas. Todas as arquiteturas apresentadas, apesar de trabalharem fundamentalmente as curvas, possuem também linhas bem demarcadas. Com uma definição mais forte a linha concede à curva um teor contrastante, natural, como a união do macho e da fêmea, representando também um maior domínio do desenho, marca incisivamente aquela como uma regra estipulada, não aleatória. Esta mistura, que se mostra



tão delicada na predominância das curvas, torna a leitura do edifício mais dinâmica e simbólica.

No caso da Ponte JK a utilização de um tabuleiro tão rente à água, além de marcar fortemente a presença da horizontalidade, demonstra uma grande interatividade da reta permeando livremente os grandes e esbeltos arcos. Devido a não linearidade dos arcos esta interação se torna ainda mais ativa. O projeto em nenhum momento se mostra estático.

Certamente a construção de um projeto desta magnitude, com um custo tão elevado, teve como fator favorável à sua concretização a situação específica desta cidade, um dos pontos focais mundiais da arquitetura, e o fato de ter se desvinculado da imagem igualitária e sedimentada, a imagem do concreto, a coloca lado a lado com as novas tendências urbanas de criar, renovar e dinamizar os espaços da cidade. Esta inserção soa como a fertilização de um solo que há algum tempo se mostrava estagnado, mas que ainda se apresenta à frente das demais cidades brasileiras. É certo que a condição de um país economicamente atrasado tende a retardar este tipo de empreitada, porém cabe, na tentativa de seguir um objetivo mais enfático, a análise completa de objetos como estes, no campo construtivo, econômico, social ou cultural, desmistificando o uso das novas tecnologias e aderindo, ou pelo menos tateando, este mercado que se mostrou promissor em diversos locais.

A capacidade e o ímpeto criativo devem ser constantemente alimentados de exemplos concretos, para que no meio de tantos e ao longo dos anos, possam reaparecer arquiteturas distintas e mais elaboradas, ainda não bem compreendidas, mas autênticas e por vezes bela.

### 4.3 – Opera de Sydney

---



Poucos edifícios podem ser considerados conceitos em beleza e inovação. Mais difícil é encontrar um edifício que após cinquenta anos desde sua concepção continue tecnicamente insuperável no material em que foi executado. Pois a Opera de Sydney, se mantém até hoje como uma das maiores referências mundiais em termos de estética, a de maior dimensão em termos de cascas, e o edifício mais imponente que tenha sido completamente construído em concreto de todos os tempos.

Estas marcas foram atingidas a um custo de muito esforço, sobretudo intelectual, tempo e dinheiro.

Jørn Utzon, natural de Copenhagem, se formou em 1942 no curso de arquitetura da Royal Academy of Fine Arts, em sua cidade natal. Dedicando-se a muitos concursos de arquitetura, quinze anos depois, em 1957, com seu escritório localizado em Hellebaek, Dinamarca, Utzon venceu o concurso para a Casa de Opera de Sydney, mudando assim seu destino e direcionando um pouco mais a arquitetura a um estilo pós-moderno. Após dois anos desenvolvendo o projeto a obra se iniciou, sendo entregue em 1973.

No ano de 1956, ano em que foi criado o concurso, a Austrália sediava pela primeira vez em sua história os jogos olímpicos; a cidade escolhida para o evento foi Melbourne e também pela primeira vez este país longínquo dos grandes centros mundiais teve a oportunidade de se apresentar ao resto do mundo. Com isso iniciou-se certa rivalidade entre as duas cidades, Melbourne e Sydney, pois, segundo Anne Watson, especialista em arquitetura e design dos séculos XIX e XX e curadora do Powerhouse Museum, maior museu de historia geral da Austrália, Sydney recebeu parte da verba destinada às olimpíadas a fim de recuperar recursos de desenvolvimento perdidos à Melbourne. Mais um fator pertinente à construção da Opera foi a volumosa migração européia em consequência do pós-guerra; estes novos habitantes se empenharam em remodelar e investir no território escolhido. Com a confluência

destes fatores, os anos que se seguiram significaram períodos de grandes mudanças para a Austrália.

“Conspicuous it may have been [...]” (WATSON, 2006, p.39), estas foram as palavras para definir o objeto do concurso. E assim foi, uma obra notável se resultou. A comissão organizadora do concurso buscava um resultado de impacto, para isso foram escolhidos arquitetos de outros países para o julgamento dos trabalhos que foram encaminhados de toda parte do mundo. Entre a comissão julgadora estava Eero Saarinen, arquiteto responsável pela execução do Terminal da TWA, em Nova York, anos depois, edifício comentado no capítulo 1. Saarinen não pôde estar presente no julgamento do concurso, chegando dias depois de anunciado o primeiro colocado, mas as críticas ao redor das influências da obra de Utzon em seu projeto foram até pouco tempo contundentes.

O fato de Saarinen não estar presente no julgamento repercutiu como uma prova atenuante, mas não suficiente. Ao final, provavelmente a obra de Saarinen tenha sido baseada no projeto de Utzon, pois em janeiro o primeiro se encontrava na Austrália para análise do projeto para a Opera e em abril foram divulgados seus primeiros croquis para o terminal; mas esta talvez tenha sido uma boa experiência estrutural auxiliando por fim concretização do projeto de Utzon. Deve-se salientar a influência de Niemeyer na utilização destes sistemas estruturais, seus trabalhos há tempos vinham enfatizando os sistemas de superfície-ativa, o Palácio das artes no Ibirapuera em 1954, a conhecida oca, e inúmeras outras cascas lançadas em apenas um eixo de curvatura foram executadas nesta mesma época, edifícios que serviram de exemplo factível da utilização de linhas curvas na arquitetura. Por fim a utilização de uma linguagem orgânica na arquitetura, concretizada através dos sistemas de cascas, se mostrava objeto de vários arquitetos em vários lugares ao mesmo tempo.

O fato de ter vencido o concurso imediatamente trouxe grande reconhecimento a Utzon, e ao mesmo tempo um grande problema. Fica claro nos desenhos enviados

inicialmente, e em todos os demais reproduzidos nas datas próximas, que nem o arquiteto nem a equipe do concurso sabiam de fato como seria executada aquela estrutura. A representação de finas cascas recobrando uma grande área, provava quão fascinante e desconhecida eram as possibilidades do concreto. Em busca de uma arquitetura inovadora, todos ali tinham idéia do problema que estavam assumindo, e o resultado foram anos de pesquisas e discussões. Utzon nunca de fato se desvinculou deste projeto. Segundo o crítico especializado nesta obra e na vida de Utzon, Philip Drew, mesmo depois de anunciada sua aposentadoria aos 80 anos, em 1998, Utzon teve de retornar a Sydney para resolver problemas projetuais, embora na fase final de execução do edifício o arquiteto tenha se afastado dos trabalhos.

Com a criação de um modelo eletrônico em 1994, entendeu-se melhor esta obra, mas segundo Drew este é um projeto que nunca foi completamente resolvido. “We have precious few documents relating to the design of Opera House. A half-century later it remains a mystery.” (DREW, 2006, p.70).

O custo da obra se tornou outro problema a acompanhar este projeto, na primeira página do jornal ‘The Sydney Morning Herald’, em 7 de fevereiro de 1957, o custo estimado da obra estava em torno de sete milhões de dólares não corrigidos, na entrega da obra o custo final ficou em torno de cem milhões. Relatórios periódicos executados pela revista ‘Architecture in Australia’, revelavam os custos de cada licitação que ocorria, piso, vidros, concreto, pintura, acabamentos, etc. Sendo relatado tudo o que vinha ocorrendo, geraram-se constantes manifestações e cobranças por parte de todos para a finalização da obra nos termos especificados.



**Figura 4.3.1** – Opera de Sydney – O desenvolvimento natural destas formas sobre as águas da baía trouxeram a este edifício uma condição única de signo, nenhum outro edifício em concreto atingiu de maneira tão veemente o objetivo proposto.

Em março de 1969 Ove Arup, engenheiro inglês experiente em sistemas de superfície-ativa, construtor de diversos prédios neste tipo de estrutura por toda Europa, formou a Ove Arup & Partners, que seria a empresa responsável pela construção das coberturas da Opera de Sydney. O parceiro de Arup responsável por esta obra era Jack Zuns. Quando Arup se reuniu pela primeira vez com a equipe de Jørn para discutir o projeto, se deu conta de que não houvera até então a participação de nenhum engenheiro na concepção do projeto; soube aí qual seria o desafio a vencer, desenvolver uma estrutura inédita e sem maiores parâmetros executivos.

Tão logo assumiu o trabalho Zuns enviou uma carta ao Instituto dos Engenheiros Estruturais de Londres (ISEL) comentando que seria inviável se produzir tais coberturas no tempo disponível sem o auxílio de computadores, sendo que os primeiros computadores executados para venda comercial, da empresa Ferranti, em Manchester, foram produzidos em

1951. A tecnologia destes computadores, que funcionavam apenas em cima de algoritmos<sup>1</sup>, permitia a obtenção de dados referentes às varias condições que a estrutura se submeteria, qualquer tabela de dados existente a respeito de variações estruturais poderiam ser calculadas automaticamente, em contraposição a outra opção que poderia ser utilizada pelos engenheiros, a régua de cálculos. O custo do primeiro computador comprado pela Ove Arup & Partners foi algo em torno de cinco milhões de dólares. Esta foi a primeira grande obra de engenharia a utilizar o auxílio de computadores.

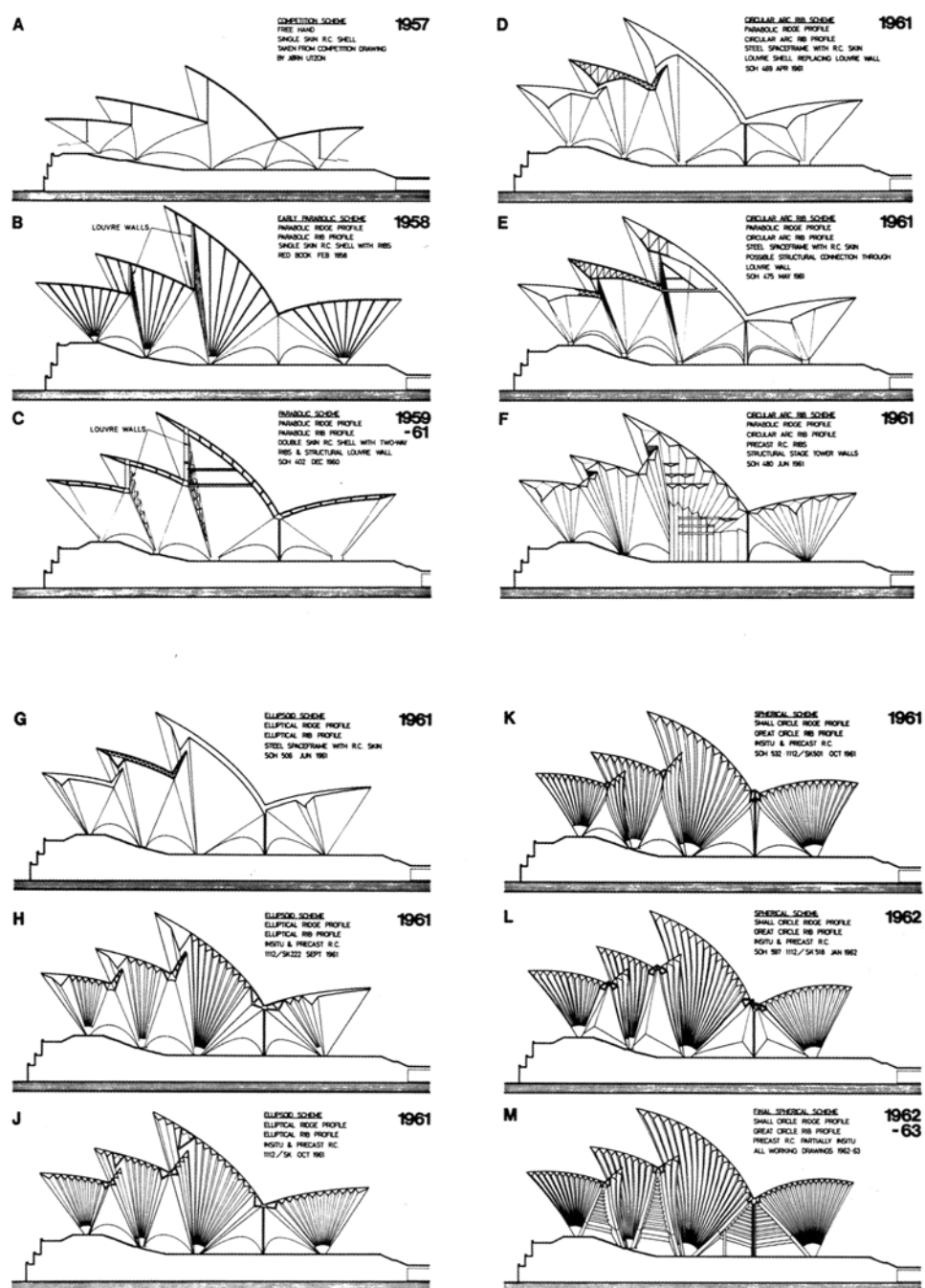
O uso dos computadores foi fundamental para execução dos cálculos, porém até 1963, o problema de concepção estrutural das conchas se mostrava mais fundamental do que qualquer outro. As formas iniciais do projeto não ajudavam muito os fluxos de força. Os cumes das coberturas possuíam curvaturas descontínuas, e os arcos mais rentes à base do edifício exigiam um esforço enorme da estrutura. As coberturas teriam de ser conectadas umas as outras de modo a formarem uma grande estrutura hiperestática, assim seria garantida a estabilidade do edifício. Arup e seu sócio na Inglaterra Jenkins, propuseram mudanças radicais nas formas e nos materiais (fig.4.3.2); chegaram a avaliar a possibilidade de substituir toda a estrutura por uma malha de aço, mas ao fim decidiram que esta solução afetaria demais a integridade estética do projeto.

Enfim foi decidido a utilização de peças pré-fabricadas de concreto em uma sucessão de arcos com seção triangular e que tivessem o mesmo raio de curvatura, 75 metros. Nesta solução final foram levados em consideração dinâmica estética e funcionalidade executiva, e para que esta distinção formal fosse atingida, os arcos teriam variantes em suas distancias percorridas e seriam rotacionados no eixo horizontal do edifício, atingindo assim o efeito de sobreposição desejado. Apesar dos arcos conterem o mesmo raio de curvatura, suas seções foram divididas em dez peças diferentes, seções estas que iam ganhando mais largura ao

---

<sup>1</sup> Algoritmos - Processo de cálculo, ou de resolução de um grupo de problemas semelhantes, em que se estipulam, com generalidade e sem restrições, regras formais para a obtenção do resultado, ou da solução do problema. (novo dicionário Aurélio)

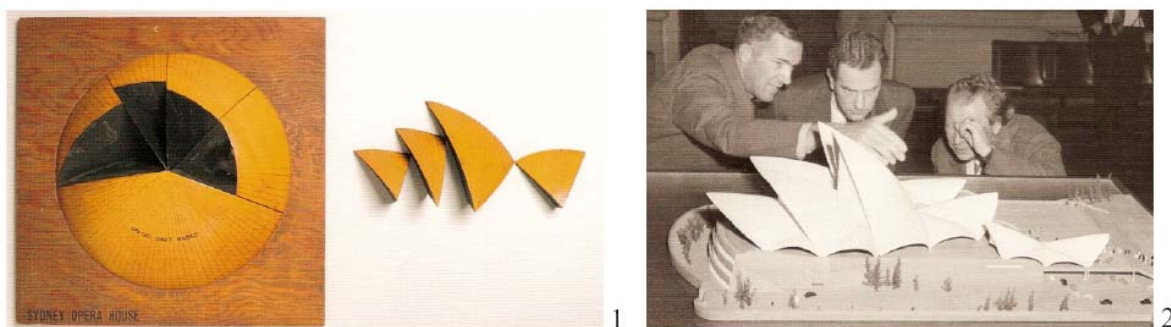
chegarem próximas do cume, seguindo um ângulo de abertura de  $3,65^\circ$  a partir da base da peça. A concepção final das coberturas se fez baseado em trechos diferentes de uma esfera com o mesmo raio (fig.4.3.3). Como se de oito esferas iguais fossem retirados quatro pedaços de seções diferentes e apoiados aos pares.



**Figura 4.3.2** – As diversas fases de concepção da estrutura – De uma estrutura extremamente fina em concreto os desenhos passaram a uma estrutura em treliças de aço com puçás nervuras até finalmente a solução executada, uma seqüência densa de vigas com seções triangulares e variáveis em concreto.



Porém, apesar da solução estrutural tentar padronizar ao máximo a cobertura, o raio da viga de apoio destes arcos, a viga do cume, era variável, causando por tanto um efeito de variação do ângulo estabelecido para as vigas do arco, os arcos não se assentavam exatamente a  $3,65^\circ$  uns dos outros. Para resolver isto muitas das vigas principais possuíam peças de preenchimento destes vazios. De qualquer maneira diversas peças especiais tiveram de ser produzidas, principalmente as peças finais do edifício, as que se projetavam em direção à baía, estas ganharam dimensões mais largas de modo a alcançarem um efeito mais ousado, um balanço maior sobrepondo as demais conchas.



**Figura 4.3.3** – (1) Maquete esquemática demonstrando a variação de raios idênticas das peças no sentido transversal, como diferentes partes de uma só esfera, porém com raios diferentes em seus cumes. (2) Maquete de uma das propostas iniciais de Utzon.

Resolvidas as peças que compunham a cobertura, o trabalho de engenharia tinha ainda resolver a amarração das cascas umas nas outras e toda a estrutura que servia de base para o edifício.

A conexão das conchas foi feita através de peças triangulares de concreto moldadas *in-locu*, situados na base dos arcos (fig.4.3.4). Estes centros rígidos da cobertura eram de vital importância para garantir a estabilidade de todo o conjunto e serviam de arranque para os arcos pré-moldados. Sua composição era formada por grandes espaços vazios no centro contendo laminas de concreto para o contra-ventamento da mesma.

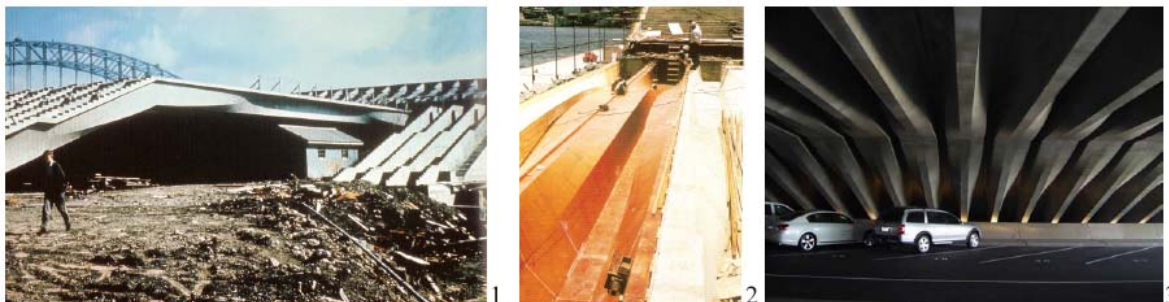


**Figura 4.3.4** – Foto da Opera em construção – Com os centros rígidos já prontos os arcos com seções pré-moldadas foram assentados sucessivamente com o auxílio de um andaime pivotante, eliminando a necessidade de um escoramento mais denso.

Tendo como influência os templos Maias, após uma viagem de Utzon a península de Yucatan, no México, a base do edifício é constituída por uma grande plataforma. Esta solução ajudou não apenas a criação de grandes espaços em um semi-subsolo, como também a estabilidade das coberturas que se assentavam sob um grande centro rígido.

O primeiro grande desafio veio com a entrada principal dos veículos, Utzon propôs um vão livre de 49,4m., para isso foram utilizadas vigas calhas de concreto protendido pré-

tencionado, com a forma de um casco de barco em suas extremidades, o conjunto se constituía de um grande pórtico com beleza condizente á do edifício.

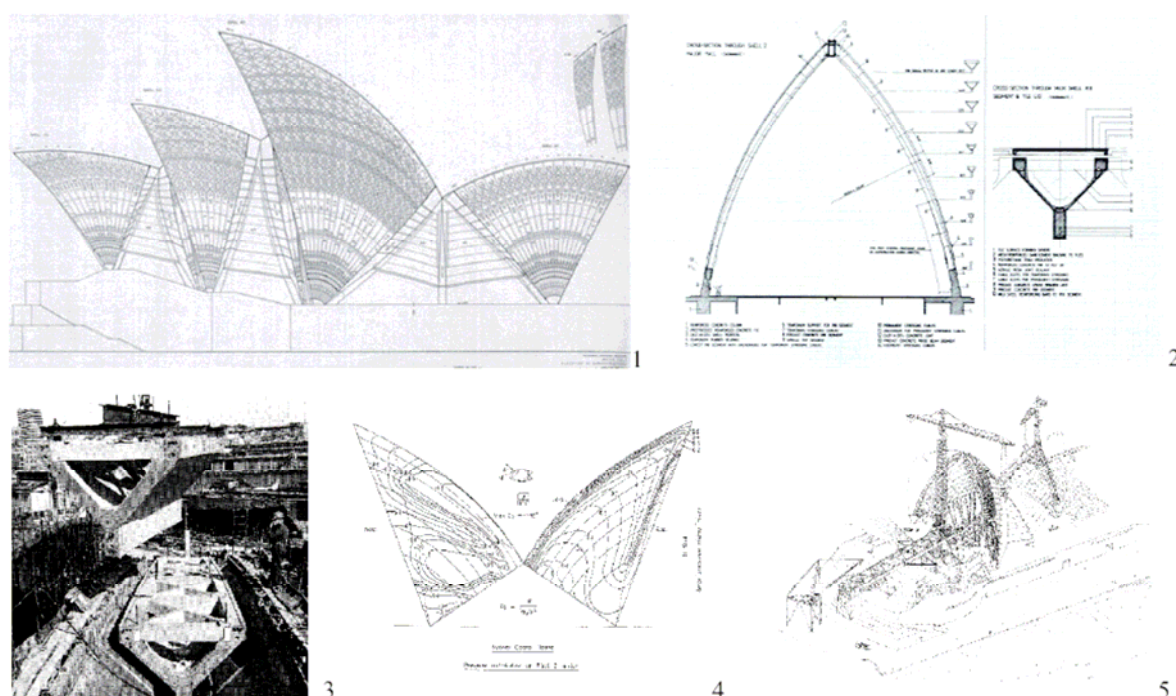


**Figura 4.3.5** – Estacionamento – (1) Ainda em fase de obras, percebe-se que as formas da viga-calha trabalham de modo a enrijecer os pontos de mudança dos vetores. (2) Fôrmas das vigas em formato de um casco de barco. (3) Estacionamento pronto, as formas chanfradas e a tecnologia de pré-tensão do aço permitiram que as vigas vencessem quase 50m.

A conclusão dos patamares finalizava a fase 1 da obra, durou de 1959 a 1963, quando se iniciaram as obras da cobertura; fase esta que durou até 1967. A empresa contratada para executar este próximo trecho da obra chamava-se MR Hornibrook, e seu responsável técnico Corbet Gore, em uma bela jogada Zuns, teve de assinar um contrato de co-responsabilidade sobre a estabilidade da obra, evitando problemas como ocorrido com Joaquim Cardozo, calculista de Niemeyer.

O sistema de pré-fabricação das peças previa uma solução de pós-protenção das peças, sendo que haveriam nas peças da estrutura canais para a protensão temporária e canais para a protensão definitiva, deste modo a amarração das peças seria gradual até seu engaste final. Todas as peças eram produzidas no local e em uma mesma fôrma de aço com paredes variáveis. As peças continham uma dimensão longitudinal de 3,6m., e seu formato final se assemelhava ao de um ‘Y’, sendo que a parte externa, as costas da viga, possuía apenas um contra-ventamento em ‘x’, tornando a peça mais leve (fig.4.3.6). Mesmo havendo grande esforço para a produção em série das peças, cada uma tinha de ter uma inclinação específica em seu topo, adequando-se a curvatura o arco. Um esforço maior para não interromper a linha de produção seria inútil.

Muitas das peças foram coladas entre si com uma resina epóxi, sendo esta umas das primeiras obras a utilizar este tipo de técnica. Uma estrutura auxiliar contendo um arco pivotante em treliça metálica, assim como uma guia metálica de compressão no local da viga calha, foram instalados para que houvesse a mínima necessidade de andaimes na obra. Após a elevação e o posicionamento de cada peça, eram passados pelos dutos os cabos de protensão temporária e, através de aparelhos que medem a pressão dos cabos, já predeterminada, as peças eram fixadas sem risco de danos.



**Figura 4.3.6.** – (1) Elevação Oeste do Projeto de Estruturas. (2) Corte transversal do Projeto de Estruturas demonstrando as diferentes seções do arco e o detalhe em corte da peça. (3) Seção do arco sendo retirada das fôrmas. (4) Quadro de esforços da cobertura principal sob pressão dos ventos. (5) Esquema geral de obra, desenho explicativo.

O revestimento externo de todo o edifício foi feito em cerâmica. Antes de ser decidida a utilização dos arcos pré-fabricados, imaginava-se o assentamento das cerâmicas no próprio local, porém a superfície irregular que se formou sobre a cobertura pelo lado externo exigiu que Utzon estudasse durante três anos, junto a um fornecedor sueco, a melhor solução. As cerâmicas foram testadas quanto a sua durabilidade e consistência, e ao fim, a melhor solução foi assentar azulejos de 12x12cm em placas modulares variáveis que acompanhassem o

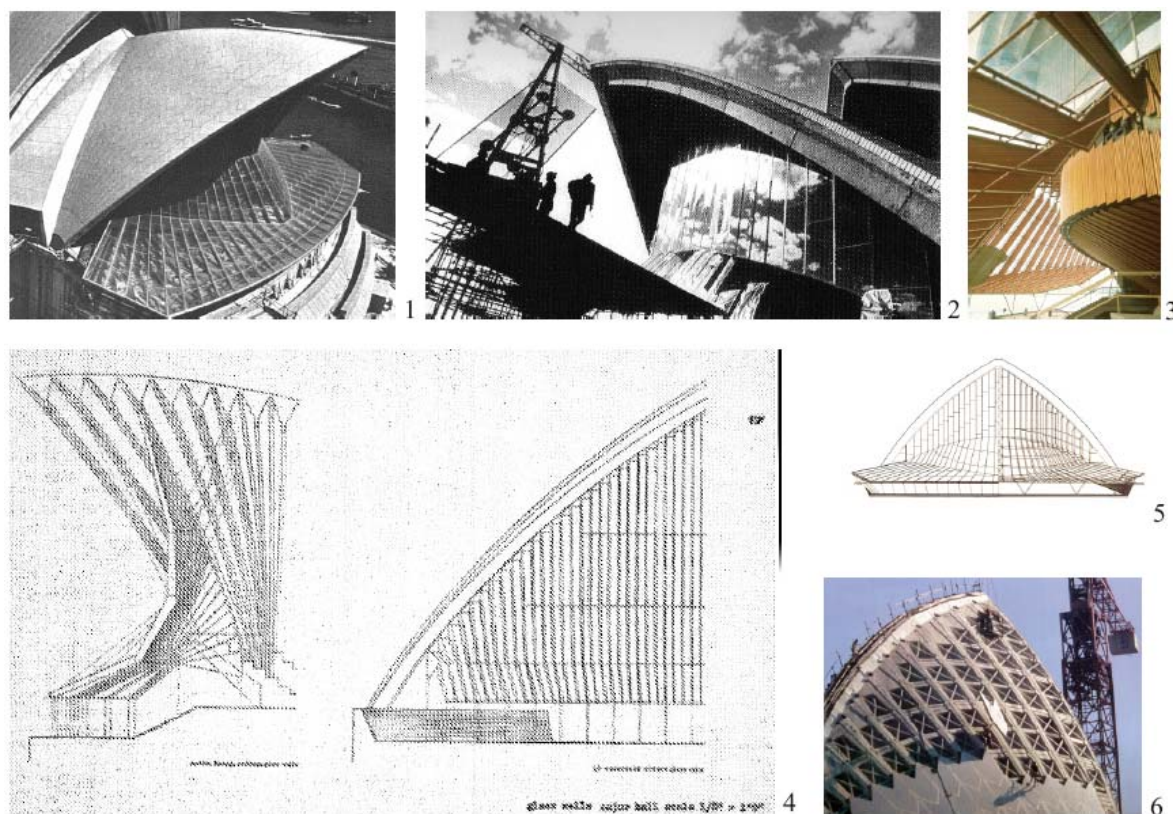
ângulo de variação dos arcos, se adequando portanto as formas do prédio. Fixadas com perfis de alumínio o rejunte das placas foi feito em epóxi branco.

Os panos de vidro, assim como todas as peças deste edifício, exigiram um estudo aprimorado de adequação às formas. Executado na fase em que Utzon se retirou temporariamente do projeto, os caixilhos foram desenvolvidos pela equipe da Arup, e devido às formas em arco de ogiva da cobertura e de, visto em planta, um arco redondo no piso, a solução dada foi uma variação de duas formas mescladas. A ancoragem principal dos vidros foi feita em apenas uma viga dos arcos da cobertura, e seguindo formas também em ogiva, em certo momento os planos se encontram com outros até conseguirem acompanhar a planta de piso. O resultado foi uma sucessão de formas geométricas fundidas apoiadas em uma estrutura auxiliar de aço com variações radiais para suporte dos caixilhos e fixação dos vidros de segurança. Os vidros utilizados são laminados de 20mm e importados da França em cor fumê.

Ao fim da obra foram utilizadas 2.194 peças de concreto para a cobertura e mais de um milhão de peças cerâmicas. Com um comprimento de aproximadamente 185m, largura de 120m e seu ponto mais alto a 67m do nível do mar, o peso total do edifício está em torno de 161.000 toneladas, suportados por 580 estacas a 25m. de profundidade. Os vidros somam 6.225m<sup>2</sup>.

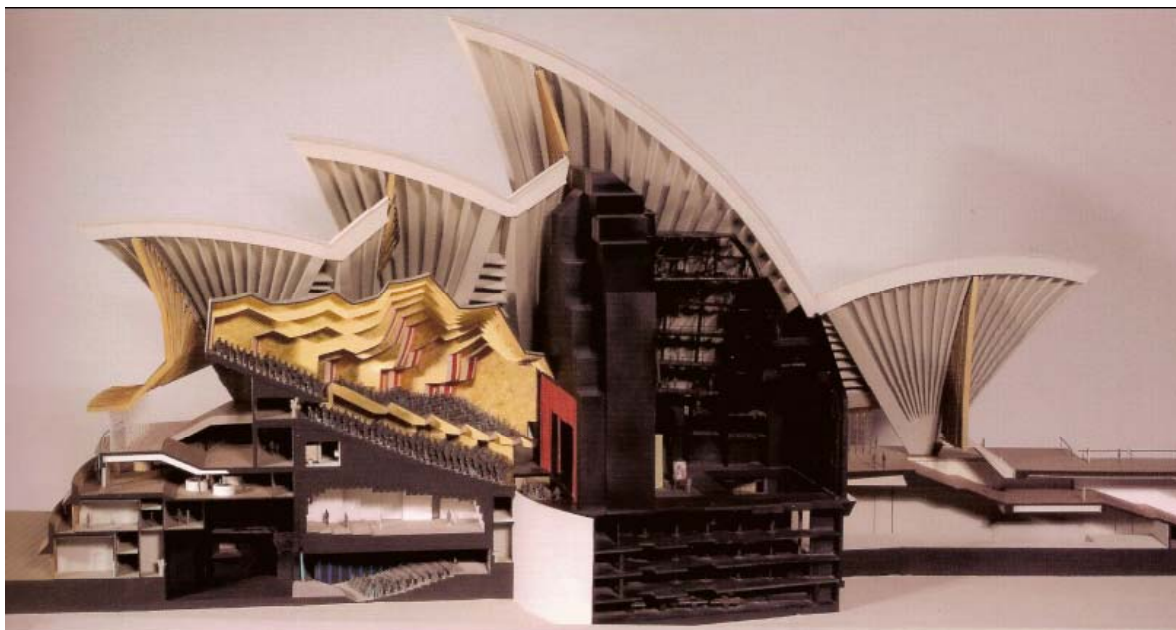
Cerca de 3.000 espetáculos são realizados por ano com um público próximo a dois milhões de pessoas.

As tecnologias utilizadas neste edifício foram referências mundiais para as diversas áreas da arquitetura e engenharia; a seleção de uma equipe integrada e totalmente imersa neste trabalho certamente foi o que fez com que cada detalhe do edifício fosse pensado com



**Figura 4.3.7** – (1) Vista aérea dos vidros de vedação frontais. (2) Assentamento dos vidros durante a obra. (3) Estrutura metálica para fixação dos vidros. (4) Desenhos em corte e elevação mostrando as formas do painel de vidro. (6) Assentamento das placas de revestimento cerâmico.

cuidado e executado com precisão. Ao se erguer um edifício com estas características e tamanho, não raramente ocorrem erros que comprometam a qualidade do edifício, porém, após todos estes anos de bom funcionamento, pode-se afirmar que não ocorreram maiores erros executivos. Como todos os demais projetos apresentados aqui, o acompanhamento e a manutenção periódica do edifício deverão ser eternos, mas este, dentre todos os demais, deverá servir como exemplo único de signo urbano nestas dimensões a ser executado em concreto, qualquer proposta contemporânea para um projeto com estas características optaria, por motivos já mencionados, por uma estrutura completamente metálica. Seguramente a arquitetura de Utzon recebeu uma oportunidade única para se concretizar e, apesar do demasiado esforço, se conclui com qualidades estética, estrutural e funcional únicas.



**Figura 4.3.8** – Maquete em corte longitudinal – As formas externas do projeto não revelam a função do edifício porém percebe-se que as possibilidades de readequação deste grande espaço são muitas.

A extrema dificuldade e dedicação exigida para que esta obra pudesse se concretizar, mais do que a beleza imutável deste edifício, é e sempre será um exemplo de como se forma um grande signo, talvez até um símbolo, arquitetônico. Séculos deverão se passar e certamente tecnologias trarão edifícios mais ousados, porém a naturalidade com que as formas deste edifício se portam não trariam, em tempo futuro algum e com nenhum outro material, maior definição e competência estética.

O funcionamento da cobertura, na maior parte do volume, trabalha de maneira muito simples. Há uma relação de apoio e equilíbrio simétrico que acaba por transferir as cargas ao solo de maneira simples e direta, um funcionamento idêntico ao de um arco de ogiva. O que já não ocorre na extremidade destas cascas, onde não há o apoio mútuo dos arcos e portanto a anulação das cargas por simples compressão no ponto mais alto. As peças situadas nas partes mais agudas da cobertura atingem seus equilíbrios através da protensão dos cabos e da fixação às peças adjacentes, ou seja os vetores que se portavam de maneira extremamente simples passam a exercer forças completamente diferentes. As conseqüências deste empuxo para

frente é uma força de tração que será absorvida inicialmente pela peça situada no cume da concha e posteriormente pelos centros rígidos construídos em concreto.

Devido à amarração de uma cobertura na outra, foi possível aumentar a força de tração aplicada pelas peças menores. Estas, que possuem menor peso e portanto não teriam condições de suportar um momento maior, agora, engastadas na grande cobertura tem a oportunidade de aliviar e distribuir melhor a carga da parte central do edifício, carga que antes se mantinha muito pontual. O edifício demonstra uma correlação de equilíbrio onde todas as peças, apesar de possuírem grande peso e serem em concreto, anulam seus momentos através das forças de tração, aliviando assim as cargas da cobertura maior. A cobertura posterior à baía é de importância fundamental para que haja maior contrabalanceamento do conjunto.

A maneira com que as peças seguem uma seqüência ascendente e rítmica resultam em uma leitura surpreendente do edifício, uma constante descoberta. Não apenas a variação dos módulos, como também os módulos em si, trazem ao projeto uma dinâmica ininterrupta. Seguida pelo fato de possuir uma locação de destaque em toda a baía, em uma península, e uma proporção geral do conjunto mais horizontal do que vertical, causando um maior conforto e amplitude visual, trazem na observação deste edifício uma nítida e segura sensação de que ele está no meio de um processo de movimentação, em momento algum ele faz força para se sustentar.

Os padrões tecnológicos e mercadológicos adotados hoje, certamente inviabilizariam a execução de outro edifício como este, quase uma obra artesanal, concebida com uma linha harmoniosa, proporcional e serena e concluída magistralmente por co-responsáveis criadores pertencentes à área de exatas.

Este talvez seja o exemplo mais latente, concluído, da tendência à nova arquitetura. Representa uma semente que hoje esta disseminada por todo lugar, e que como o modernismo, rapidamente a de se tornar tecnicamente comum. Projetado também na década

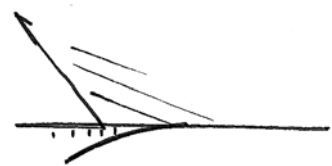


de 50, este prédio pode mostrar quão avante do seu tempo a arquitetura se lança, e também quão rápido se concretizam os meios para que uma linha completamente orgânica se reproduza, uma vez que, como veremos no próximo capítulo, o tempo para se executar uma obra como esta diminuiu demais ao longo de poucos anos.

Apesar do esforço desmedido para se obter este resultado final, até um pouco inconseqüente, esta é uma obra que representa com distinção a ambição e a capacidade do homem.

#### 4.4 – Ponte de Sevilha - (Alamillo Bridge)

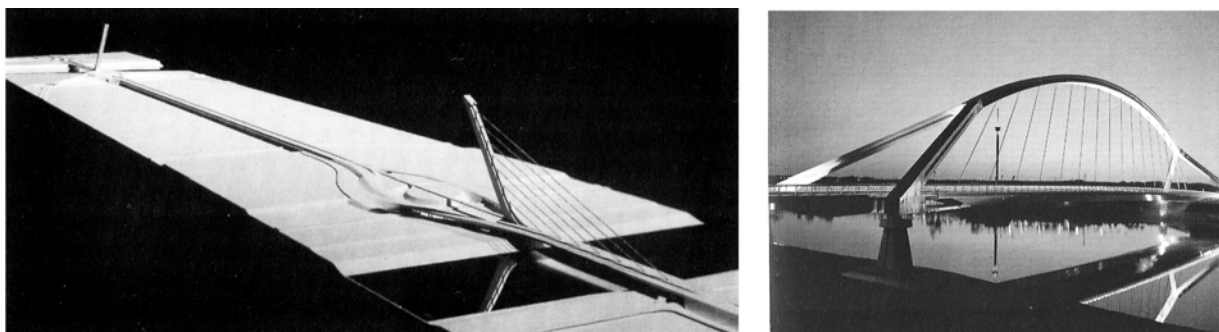
---



Em 1992 a Espanha estava passando por um período muito próspero em sua história recente; celebrava sua participação integral no bloco econômico europeu, os quinhentos anos de descobrimento das Américas, os Jogos Olímpicos em Barcelona e a Exposição Universal que ocorria em Sevilha. No meio deste ambiente promissor, ocorreram muitos planos para reconstrução e revitalização das malhas urbanas de todo o país. Muitos projetos de arquitetura se destacaram.

A ponte Alamillo em Sevilha é um destes projetos que alcançou repercussão mundial e Santiago Calatrava, arquiteto autor do projeto, diversas vezes teve a oportunidade de expressar as linhas de sua arquitetura inovadora no território espanhol e europeu. Com uma formação que se pode considerar a mais completa atualmente para a produção deste tipo de projeto, Calatrava nasceu em 1951, Valência, Espanha, teve suas primeiras experiências com desenhos e pinturas cedo, ao frequentar uma escola de artes e ofícios; completou os estudos do 2º grau na França e retornou a Valência novamente, onde ingressou na recém formada 'Escuela Técnica Superior de Arquitectura', se graduando arquiteto. Logo após cursou sua primeira pós-graduação, em Urbanismo, nesta mesma instituição. Ainda não satisfeito com seu conhecimento na área, em 1975, Calatrava ingressou na ETH (Instituto de Tecnologia Federal) em Zurique, onde obteve o título de Ph.D em 1979 com uma tese que se baseou em estudos de estruturas articuláveis (The Foldability of Space Frames). Constantemente participando de concursos, conseguiu seu primeiro grande trabalho em Zurique mesmo, cidade onde se encontrava seu escritório, o projeto executado foi o da estação de trem de Stadelhofen. Em 1984, Calatrava desenvolveu o projeto 'Bach de Roda Bridge', em Barcelona, este foi seu primeiro projeto de uma ponte e que lhe proporcionou reputação internacional, porém a solução encontrada na Ponte Alamillo certamente lhe trouxe maior amplitude profissional. Entre os arquitetos que o influenciaram estão Pier Luigi Nervi e Gaudí, ambos também se baseavam nas formas da natureza para conceber seus projetos.

Em Sevilha, seis pontes foram construídas na mesma época, três delas para acessar a Expo 92, mas dentre todas, talvez com um intuito maior, a ponte Alamillo foi locada em uma parte pouco prestigiada da cidade, próximo a bairros degradados. Embora a ponte de Alamillo ter sido a que atingiu maior respaldo internacional, a arquitetura da ponte ‘The Barqueta’ projetada por Juan José Arenas e Marcos J. Pantaleón (fig.4.4.1), assim como os projetos de Calatrava, apresenta uma estética muito visceral e delicada.

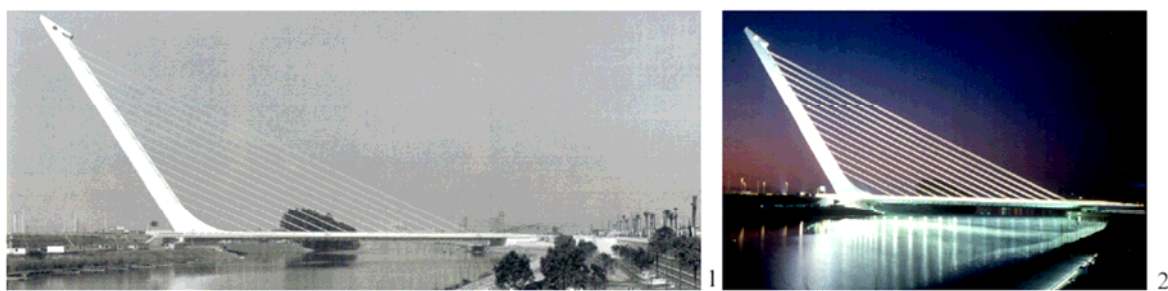


**Figura 4.4.1** – (1) Maquete do projeto inicial – A implantação de duas pontes simétricas ao invés de uma, mostra que este projeto traria uma linha muito mais imponente e conceituada caso construído por inteiro. (2) Ponte ‘The Barqueta’.

Após iniciar suas atividades em 1982, Calatrava obteve um grande sucesso imediato, executando trabalhos de teor muito representativo e acima de tudo com qualidade técnica. Em 1987, quando recém terminada a ponte de sua autoria Felipe II, em Barcelona, Calatrava se apresentou a uma comissão de seleção para os projetos de uma entre 17 regiões da Espanha. A ponte Felipe II proporcionou informações suficientes para que a chamada ‘Junta de Andalucía’, a comissão de projetos, contratasse o arquiteto para o projeto da ponte Alamillo, havia uma data limite para entrega da ponte, 20 de Abril de 1992. Calatrava teve acessória de uma das maiores construtoras da Espanha, a Dragados y Construciones SA., sendo que a empresa Intecsa, do mesmo grupo, seria a responsável pelos cálculos e desenhos de engenharia, enquanto seu escritório se concentraria na concepção formal e nos detalhes mais complicados.

Na ponte de Alamillo, assim como na Ponte JK, os elementos estruturais da edificação são encontrados em muitas outras pontes, mastros e cabos, e novamente o que torna seu significado imponente e diferenciado é a abordagem adotada para se aplicar estes elementos.

As pontes estaiadas são sem dúvida as pontes visualmente mais leves que existem. A utilização de cabos ao invés de elementos rígidos torna a leitura estética destas obras muito mais ousada desafiadora. O observador é levado a prestar muito mais a atenção nos elementos de massa do que nos cabos, causando este efeito de desafio. Na Ponte de Sevilha, o emprego dos cabos de modo a serem interrompidos no próprio mastro, sem a necessidade de amarração destes ao solo, o que seria a solução mais usual, é o que torna este projeto inédito e com um equilíbrio inusitado.



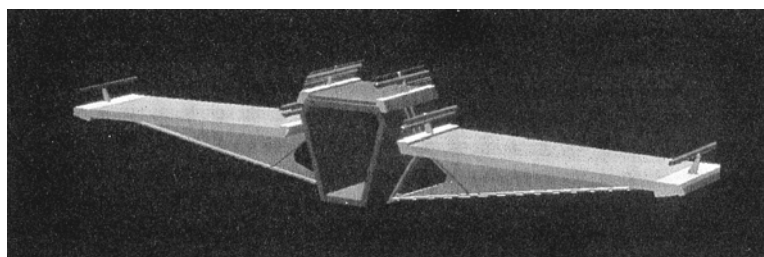
**Figura 4.4.2** – Ponte Alamillo – Vista geral de dia e noturna, com a iluminação enfatizando a existência dos estais de sustentação.

A idéia inicial de Calatrava era construir duas e não apenas uma ponte, onde ambas formariam um eixo simétrico contendo um viaduto central com espaços abaixo de recreação para a população (fig.4.4.1). No primeiro partido o mastro da ponte também previa a utilização de estais de ancoragem na parte posterior do pilar, mas a estrutura da mesa já previa um centro rígido no centro por onde passariam os pedestres, exatamente como executado. No sistema final utilizado na ponte, com a retirada dos estais posteriores, o equilíbrio de pesos entre o mastro e a mesa é essencial para que haja um funcionamento seguro da estrutura. Segundo Spiro Pollalis, autor de um livro a respeito desta obra, caso o peso total do mastro fosse

aumentado em 10% isso repercutiria em um momento de 62% em sua base, ultrapassando os limites de segurança; estas tolerâncias mínimas a erros demonstram a precisão com que a obra teve de ser executada.

O vão vencido pela ponte é de 200m., um vão não muito grande, o que permitiu que esta audaciosa solução se concretizasse. Como nos demais projetos apresentados, a seção transversal das peças é o que define a rigidez de toda a edificação. Ela é quem possibilita a boa distribuição das forças, absorvendo as cargas dos demais elementos e transmitindo ao solo com a eficiência e a flexibilidade necessária para não se romper. E aqui, como em todos os projetos da Calatrava, todas as peças da estrutura se compõe de modo a enaltecer formas orgânicas ao mesmo tempo em que, mesmo conseguindo grandes resistências mecânicas, são extremamente leves, física e visualmente leves.

A composição da ponte se resume basicamente a longarina horizontal, que compõe a mesa, ao pilar inclinado do mastro e os estais que absorvem as cargas da mesa, levam até o mastro e que depois são finalmente descarregadas no solo. O grande ponto de absorção de todas as cargas, tanto permanentes como acidentais está na base do mastro. Este é o grande centro rígido que estabiliza toda a estrutura.

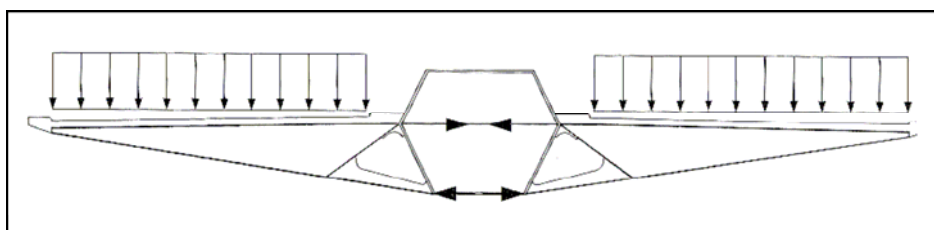


**Figura 4.4.3** – Modelo tridimensional da seção da mesa.

A solução adotada para a mesa, com esta grande espinha dorsal que devido sua forma absorve muito bem as diferentes cargas de torção aplicadas nas pistas de rolagem, permite que o passeio dos pedestres seja totalmente desvinculado do transito de veículos. A uma altura de

1,8m. acima da pista, apenas com a passagem de grandes caminhões a vista do rio é interrompida no caminho percorrido pelos transeuntes

As peças que compreendem toda a estrutura horizontal são compostas por materiais metálicos, sendo apenas as lajes das pistas feitas em concreto armado. As vigas em balanço, separadas por quatro metros de vão, funcionam todas de maneira independente umas das outras, com isso a garante-se a mobilidade da estrutura evitando assim uma composição rígida, densa e mais pesada. Apesar das vigas em balanço que suportam as pistas estarem independentes cada uma das demais ao longo do percurso, elas se conectam por dentro da longarina à viga da pista oposta, enrijecendo todo o conjunto apenas no sentido transversal (fig.4.4.4) e, portanto, permitindo que a estrutura trabalhe mais à força de torção, força que será absorvida pelo cabo de protensão; como se os cabos fossem responsáveis pela sustentação de vértebras semi-independentes que trabalham em uma espinha dorsal.



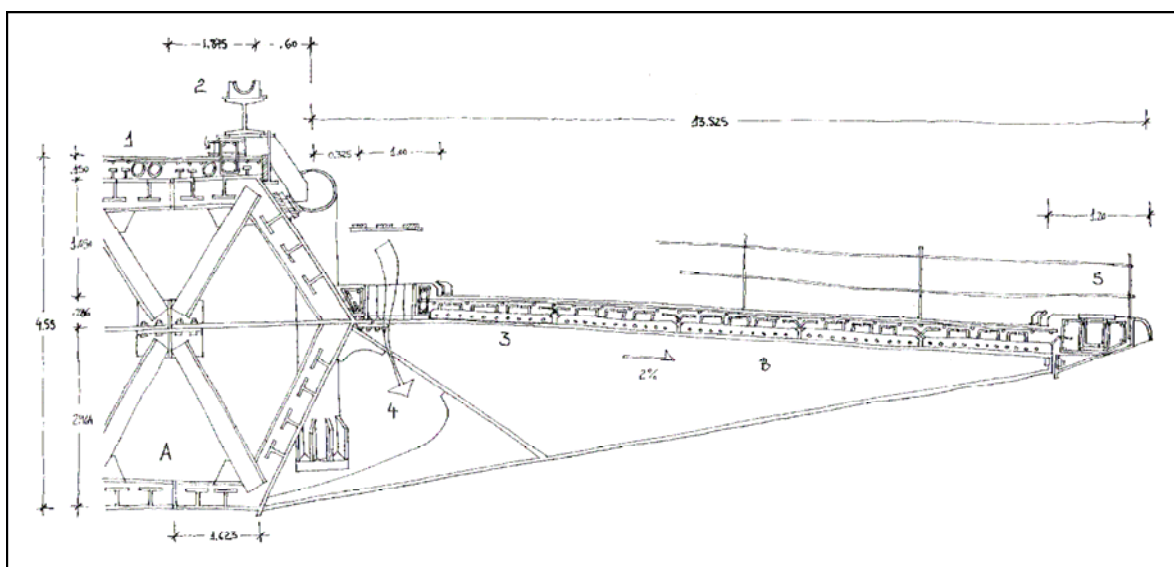
**Figura 4.4.4** – Corte transversal da mesa – A ligação das duas vigas em balanço por dentro da longarina redistribui melhor os esforços gerados no engaste de ambas as peças e enrijecem todo o conjunto.

Os 13 pares de cabos estão paralelamente dispostos a cada 12m. em um ângulo de  $24^\circ$ , possuem espessura de 15,2 mm. e estão recobertos por uma bainha de polietileno. Sua fixação é feita nas laterais da longarina de aço.

A longarina, que se trata de uma caixa de aço se estende livre por 171,5m., com reforços transversais também a cada 12m., sua estrutura é composta de uma maneira muito semelhante aos arcos metálicos utilizados na Ponte JK; chapas metálicas com 60mm. na parte

superior e 50mm. na inferior, dispostas no perímetro externo, e uma sucessão de perfis 'T' dispostos no sentido longitudinal da peça. O interior da peça é preenchido por concreto apenas nos seus 11 primeiros metros, depois forma-se um caixão perdido. As seções desta estrutura central variam de tamanho, conforme se afastam do apoio principal, ganham maior dimensão (fig 4.4.12).

As cargas aplicadas a menos de cinco metros de distância da caixa central não chegam a gerar força suficiente para que os estais trabalhem, assim parte da força é absorvida pelos cabos, parte pela própria caixa de aço.

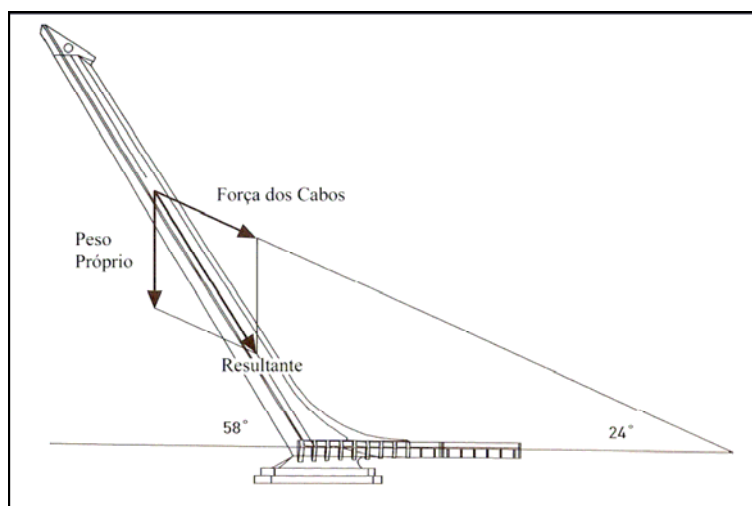


**Figura 4.4.5** – Detalhe em corte da mesa.

O mastro vertical com 134,25m. de altura, diferente da mesa que está sujeita a muito mais cargas acidentais, suporta constantemente as cargas dos estais e seu peso próprio. O vetor resultante destes esforços, mais especificamente no cabo que se situa bem no meio do mastro, está a  $58^\circ$  de inclinação, exatamente a inclinação do pilar em relação ao horizonte quando não há nenhuma carga adicional, sendo portanto, esta força transmitida à base por compressão, perpendicular à seção do pilar (fig.4.4.6). Solução extremamente simples e bela.

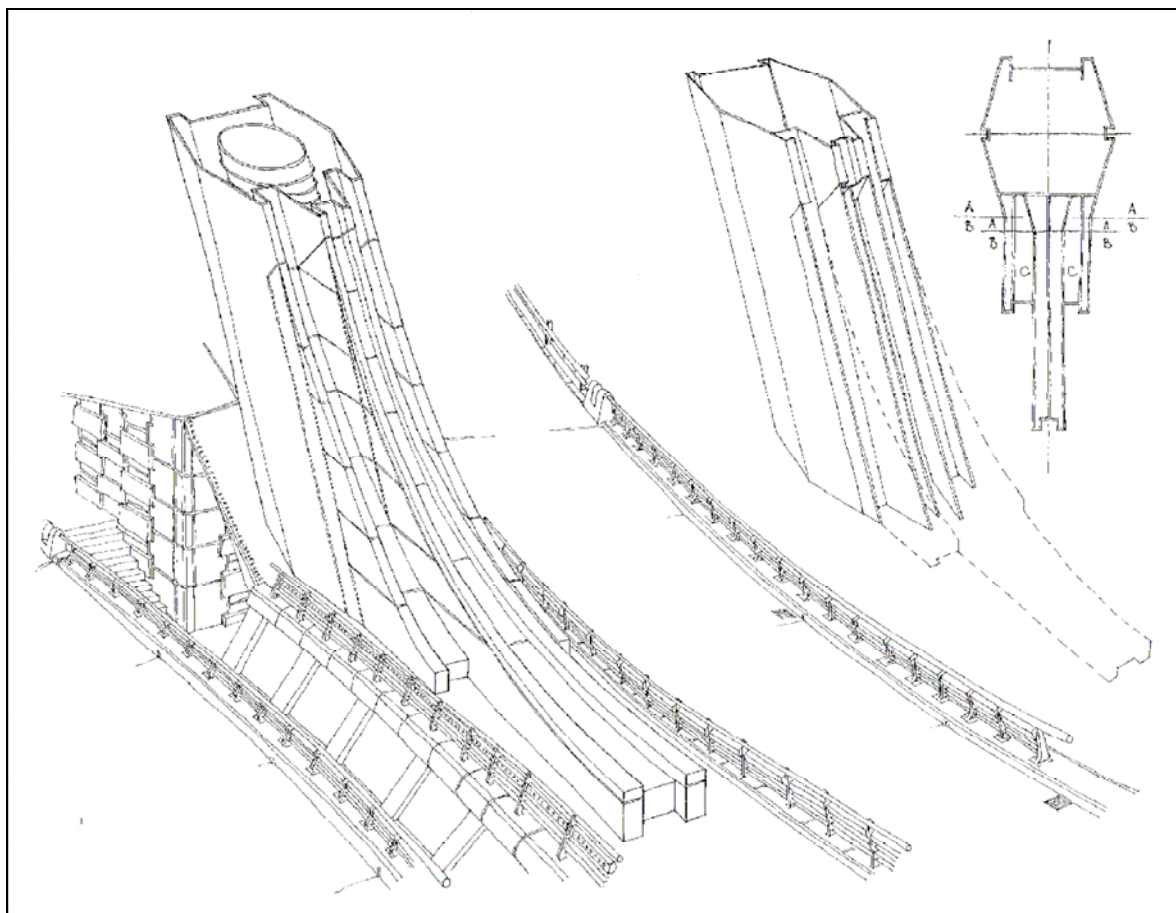


Por sua vez, os demais cabos situados tanto acima como abaixo do centro do mastro produzem algum momento na peça. Segundo estudos da estrutura, o cálculo de deformação do pilar no seu ponto mais alto indicou uma variação de até 3,2m. antes de se romper.



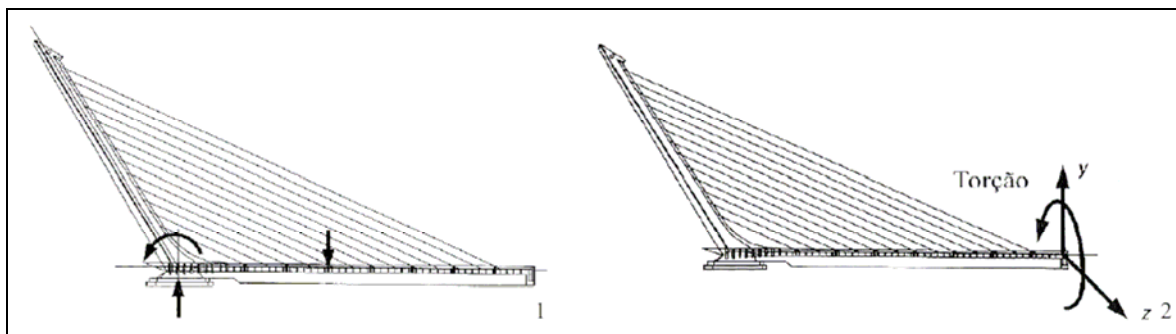
**Figura 4.4.6** – Esquema de atuação das forças – A resultante das forças foi o que definiu a inclinação do mastro.

As peças que compõe as seções do pilar são compostas por chapas de aço e se portam como uma grande fôrma que será preenchida por concreto. Cada seção possui 7,3m. de comprimento e um grande tubo central oco, onde fica situada a escada para manutenção dos cabos, mas o mastro em si é praticamente uma estrutura de concreto armado, sendo que o aço desta estrutura, nas partes mais altas, está apenas na parte de fora, mas em algumas seções mais próximas ao solo há barras internas complementares. A fixação de cada seção foi feita por solda na parte externa e o fundo destas ‘cascas’ de aço possuem furos para passagem dos aços complementares, engastando as peças de expostas a maiores esforços.



**Figura 4.4.7** – Detalhe da seção do pilar – As reentrâncias formadas tanto na parte frontal como posterior do mastro auxiliam à resistência mecânica da peça.

Normalmente as fundações de qualquer edificação são construídas para receberem cargas verticais e no sentido de cima para baixo. No caso da Ponte Alamillo, a fundação é um ponto que concentra as cargas provenientes de todas as peças, promovendo vetores em todas as direções e com grandes momentos. Foram consideradas também cargas verticais para cima, tendo este de ser um centro rígido extremamente bem engastado aos demais componentes estruturais da ponte e até ao próprio solo.



**Figura 4.4.8** – Forças atuantes na base da ponte – A fundação principal esta sujeita a esforços de todos os tipos (Tração, Compressão, Cisalhamento e Torção) e em todas as direções.

Uma empresa específica, contratada durante a obra, foi responsável por instalar equipamentos de medição cujo objetivo era garantir a perfeita execução e monitoração posterior da edificação. No total foram instalados 341 instrumentos permanentes nos pontos mais críticos da estrutura.

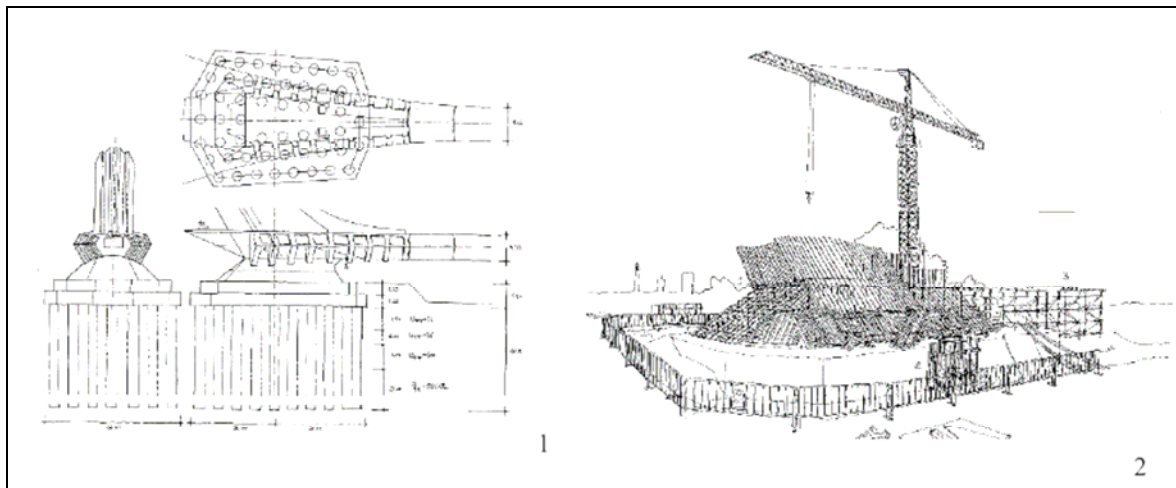
A construção da ponte se concluiu em 31 meses e foi entregue no dia 29 de fevereiro de 1992, 42 dias antes da abertura da exposição, mas sua inauguração foi adiada até março à espera da conclusão das demais pontes que estavam sendo construídas.

O processo construtivo seguiu uma seqüência de fundação, pedestal do mastro, mesa, mastro, cabos e acabamentos.

Fundações foram executadas dos dois lados do rio, sendo que a principal (fig.4.4.9), que apóia o mastro, é composta por 54 estacas com comprimento de 45,5m., e um bloco de concreto que se aprofunda 4,5m. do nível do solo, já a segunda, muito menor, foi executada de maneira a suportar pequenos esforços e ancorar a pista no lado oposto do rio.

O pedestal da ponte, todo em concreto armado, foi construído com paredes de 30° de inclinação na parte posterior do pilar e 52° nas laterais. As primeiras vigas em balanço para apoio da pista são ancoradas nesta grande peça de concreto. Após a conclusão deste trecho da obra começou a execução da longarina de aço. Para apoio desta estrutura, enquanto o pilar não se encontrava pronto para receber os cabos e suporta-la, foi construído um dique provisório que desviou o curso do rio, esta solução possibilitou se escorar toda a caixa de aço e criar espaços

para trabalho (fig.4.4.10). Em certa altura estavam sendo executados pilar, mesa e instalação dos cabos ao mesmo tempo, proporcionando a retira sucessiva das escoras.

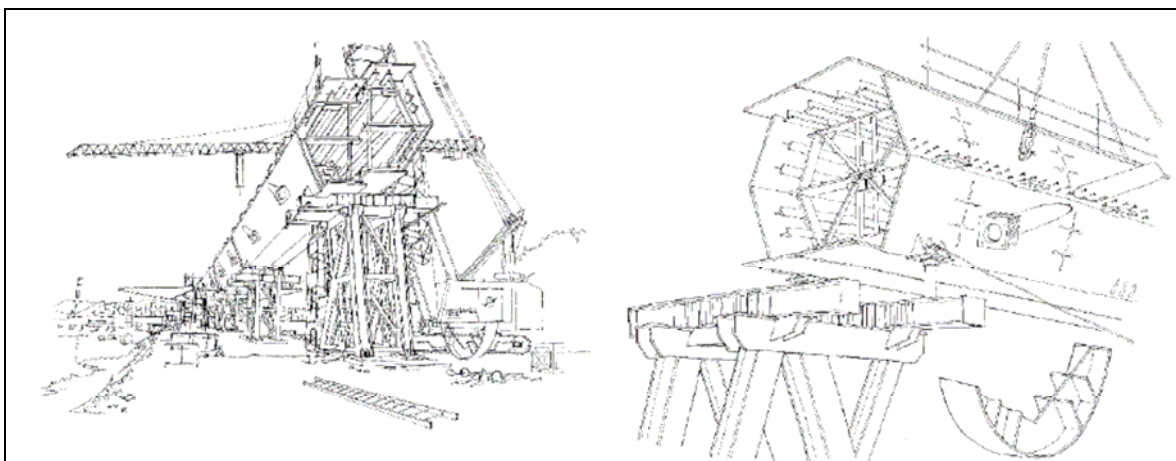


**Figura 4.4.9** – Detalhe da Fundação Principal – (1) Desenho final da fundação. (2) Desenho da construção da base mostrando as ferragens antes da concretagem.

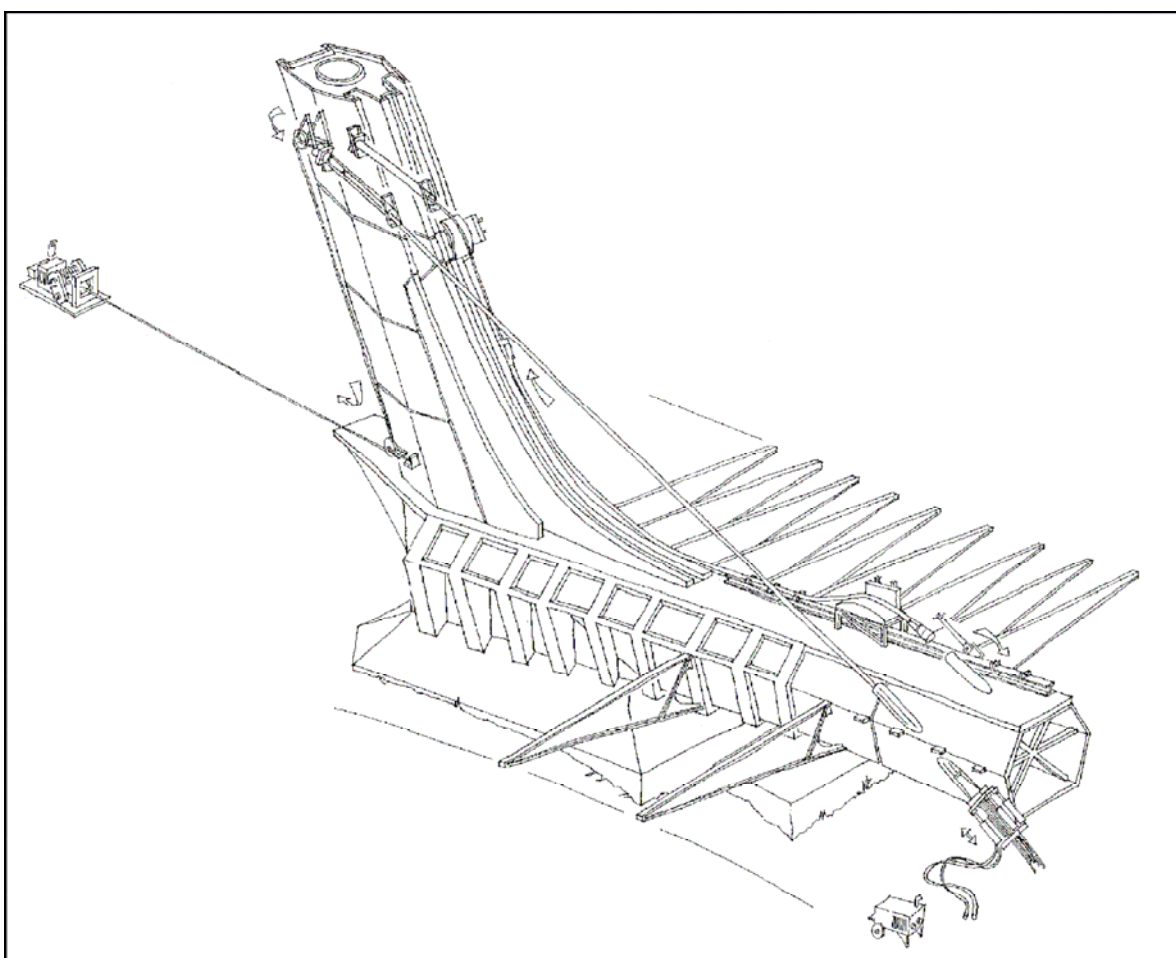
A caixa de aço foi pré-fabricada em duas partes, esquerda e direita, e sua instalação previa a conexão *'in locu'* destas peças (fig.4.4.10). Os arranques para fixação dos cabos também já chegaram à obra prontos. Após a conexão das duas partes da longarina, através de solda e parafusos, eram fixadas as vigas em balanço. As pistas foram executadas com uma laje alveolar pré-fabricada no fundo e concretagem na camada superior.

As peças que compunham as seções do pilar também chegavam à obra prontas. Eram posicionadas, soldadas, depois preenchidas com concreto. A última seção do pilar não possui cabos ancorados, portanto a concretagem do mastro não foi completa, formando um piso para o observatório em seu topo. Andaimes circundando todo o mastro foram temporariamente instalados para serem executadas as soldas e a fixação dos cabos.

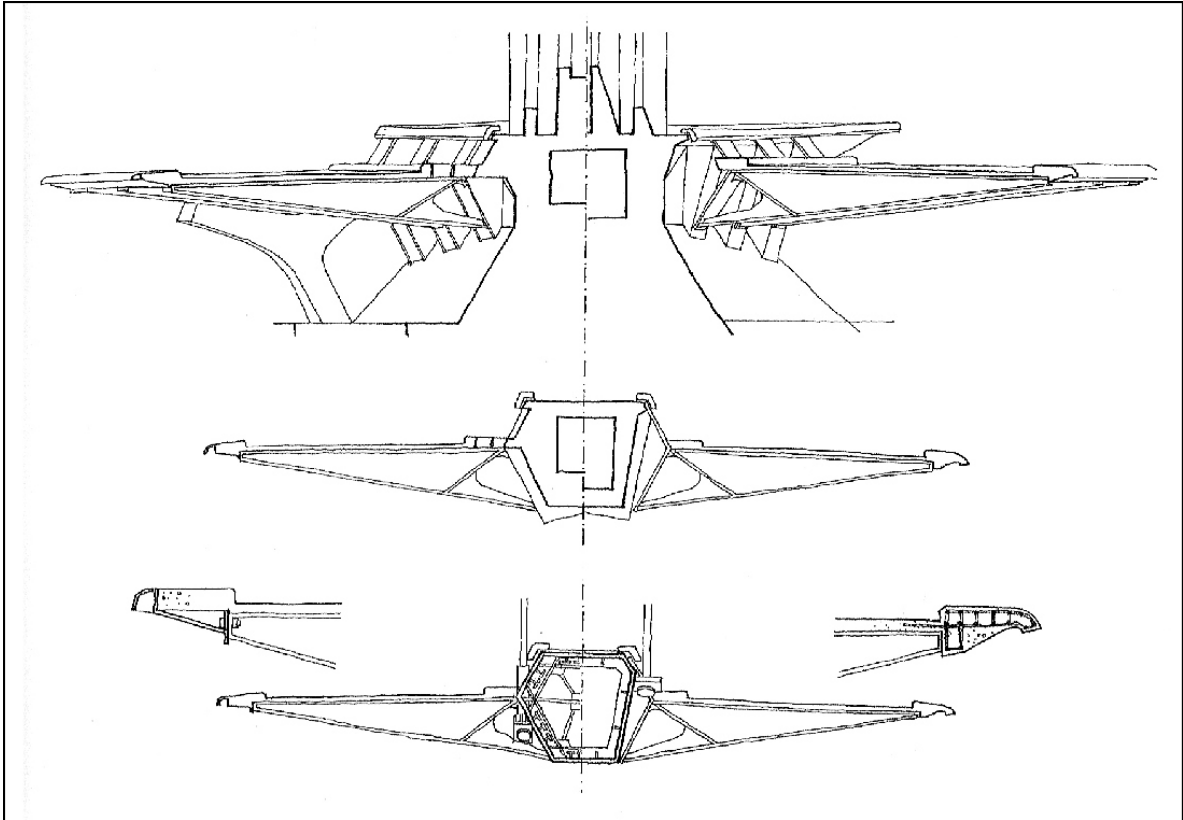
O custo final da obra ficou pouco mais de 38,5 milhões de dólares.



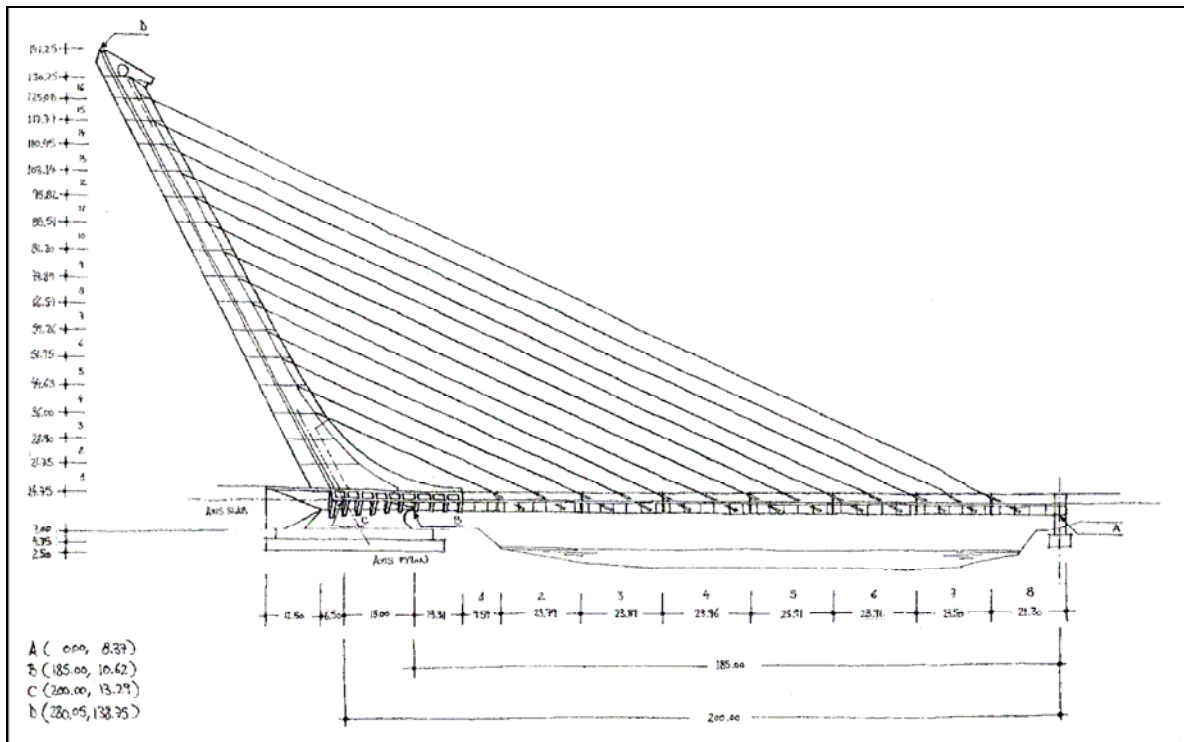
**Figura 4.4.10** – Desenho do assentamento e soldagem das duas metades da longarina.



**Figura 4.4.11** – Esquema geral de montagem da ponte – Depois de terminada a concretagem da base foram fixadas as seções da longarina, vigas em balanço da mesa, seções do mastro e protensão dos cabos através de roldanas e aparelhos fixos no solo.



**Figura 4.4.12** – Diferentes seções da longarina – A partir da base de concreto o volume da peça foi diminuindo até a longarina de aço, a partir desta o que variou foi a forma que passou gradualmente de uma seção estreita, absorvendo mais cargas verticais a uma seção hexagonal, absorvendo mais cargas de torção.



**Figura 4.4.13** – Elevação geral da ponte.

Utilizando soluções precisas e com uma concepção orgânica não apenas no sentido formal, mas também técnica, esta ponte traduz por que Santiago Calatrava se tornou um dos arquitetos mais atuantes, talvez o mais, neste tipo de projeto. Sua tipologia visceral de projetos é reproduzida exaustivamente em muitos exemplos, tendo certas vezes modelos redundantes, mas também há exemplos exímios, de uma tipologia aprimorada e lapidada pelo seu profundo conhecimento técnico. Certamente este edifício é um destes exemplos, a extrema simplicidade conceitual aliada a uma linha apurada o faz equilibrado em todos os aspectos. Da mesma maneira, com sua destreza tecnológica, Calatrava tende a elevar o conhecimento técnico-estrutural dentro da arquitetura a parâmetros ainda pouco conhecidos.

A linha deste projeto exprime formas não apenas orgânicas mas também elementares. Tão elementares que o desafio gerado pelo ponto de apoio extremamente delicado, traz ao leitor uma constante busca de entender o equilíbrio da peça, tornando este um desenho que não se encerra em si mesmo. A descontinuidade formal traz a busca de mais elementos construtivos, e certamente a execução da segunda ponte espelhada, traria uma proporção maior ao projeto, a simetria e a composição equilibrada faria deste desafio gravitacional uma obra maior e cujo espaço vazio seria inerente à composição, aumentando diversas vezes a dimensão e a amplitude do projeto; embora a composição estrutural da ponte seja primorosa. De qualquer maneira, enquanto estrutura esta obra apresenta uma solução ímpar desde seu conceito geral até os menores detalhes executivos.

Diferente das demais obras, esta ponte não atinge nem uma estática impetuosa como a Catedral de Brasília nem dinâmicas tão energéticas quanto às outras duas. Esta obra sem dúvida possui uma ausência de estática grande, de maneira alguma está agarrada ao solo, porém sua fluidez estética se conserva muito rigorosa, não induz o leitor a uma continuidade em sua observação, suas formas encerram um ciclo entre mesa mastro e cabos, mas ao mesmo tempo desafia o equilíbrio da ponte. Seria um meio termo entre a unidade sólida da catedral e

as constantes variações das demais obras analisadas. Não se pode negar que a beleza deste projeto está na originalidade da concepção aliada a trivialidade do conceito.

Além de alcançar belezas únicas, projetos como estes, que resolvem de maneira quase completa toda a obra, deverão em pouco tempo fazer parte do repertório de um novo profissional. A multidisciplinaridade dentro da arquitetura, como nos tempos em que o arquiteto era o mestre construtor, deverá, através dos muitos meios eletrônicos de se analisar os projetos, atingir um ponto em que executar uma obra será como executar uma maquete, rápido e pouco discutido. As tecnologias contemporâneas, aliadas ao conhecimento técnico, este que sempre será insubstituível, trarão um domínio muito maior de todas as áreas por parte do arquiteto, sendo ele, mais do que hoje, um centralizador de soluções, não apenas de idéias.



## **Considerações Finais**

---

Ao longo do trabalho foram apresentadas matérias referentes às propriedades físicas e conceituais utilizadas pelos grandes edifícios chamados de signos urbanos, enfatizados por maior teor estético, estes edifícios exigem um aprimoramento estrutural com relação aos demais. Para isso foram apresentados conceitos relativos à estabilidade destas construções, características dos materiais mais utilizados, meios pelos quais se executam tais projetos, o significado destes enquanto imagem, e por fim, estes conceitos aplicados na prática com os quatro estudos de caso.

Analisando as obras escolhidas vemos alguns pontos muito fortes de convergência em seus processos executivos, desde o cuidado na escolha do local de implantação e dos projetos em si, até a solução dos detalhes executivos destes.

Fica claro em cada caso a motivação que levou os administradores das cidades à escolha de implantação destes projetos, e podemos concluir que os benefícios atingidos por estes não somente se encontram no desenvolvimento socioeconômico local e regional, como também no âmbito construtivo, gerando a necessidade de desenvolvimento de novas técnicas projetuais, materiais e processos construtivos específicos para cada obra, muitas vezes norteando os caminhos pelos quais às cidades deverão evoluir materialmente. As atenções dedicadas ao início da obra se mostram, em todos os exemplos, um fator essencial para o sucesso da mesma. Nenhuma das obras começou sem um preparo completo de projetos (arquitetura, estruturas, fôrmas, ferragens, fundações, etc.), e sem etapas e custos bem definidos, itens de suma importância para o controle destes desafios pouco conhecidos no campo da engenharia.

A necessidade faz o homem, e assim como as guerras são o principal incentivo à evolução tecnológica, a ambição no campo da construção criou barreiras a serem vencidas. Esta ambição por vezes gira em torno de necessidades factíveis, como dois lados de um rio ou de depressões geológicas a serem conectados, mas em alguns casos os meios pelos quais estas

ambições florescem são quase que unicamente ostentativas, sem uma necessidade maior do que a materialização de um símbolo de distinção social; o capital simbólico mencionado por Jencks.

Mas é exatamente este capital simbólico que formulou um circuito voltado à inserção de signos nas grandes cidades e esta vem se tornando uma ordem econômica e social. No âmbito econômico as vantagens giram em torno das visitas e do aquecimento desta indústria da tecnologia construtiva, e em um período onde aparentemente não há uma ordem arquitetônica vigente, sem maiores referências doutrinadoras de como se produzir arquitetura, enfim, o período pós-moderno, estes edifícios elucidativos de uma imagem 'natural', se inserem da maneira culturalmente ampla a todos, daí sua escolha. Grandes signos referenciais, distribuídos de maneira eqüidistantes e pontuais, ordenam uma massa de imagens aleatórias dentro das grandes cidades.

Do ponto de vista estético, o tema natural e orgânico é intrínseco a qualquer ser humano, independente da região que ele provem ou de quais seus parâmetros ideológicos o leitor se identifica com tais formas. Tornou-se quase que uma regra de retorno cognitivo. Uma regra necessária à organização estética da cidade e que se apresentou por volta dos anos 30, começou a se concretizar nos 50 e a partir dos anos 80 e 90 vem sendo largamente explorada.

Porém não se pode dizer que a busca de formas orgânicas é uma tendência nova. As menções à arquitetura clássica sempre lembram da busca de representação da natureza, o belo sempre teve como inspiração as formas naturais, é isto está, e provavelmente sempre estará, ligado à necessidade de domínio da natureza por parte do homem. Como o único desejo desta espécie que é impossível de se realizar e que, exatamente por isso, constantemente oprime suas ambições; o homem nunca será auto-suficiente em relação ao meio natural, ele depende disto e isto anula sua aspiração de liberdade irrestrita.

Talvez estes sejam argumentos que expliquem a escolha estética vigente em todos estes projetos, mas na questão técnica, como já relatado, nenhuma forma se porta com mais eficiência do que as formas naturais. Estas se mostram espontaneamente favoráveis aos fluxos de forças e com todo o conhecimento de hoje a respeito de materiais e resistências mecânicas, somente com a aplicação destes conceitos de estruturas orgânicas se torna possível vencer maiores vãos com maior eficiência. Este conceito provavelmente será aplicado de maneira cada vez mais vigorosa.

Estando determinadas de fato as opções estéticas, essencialmente as curvas trespassadas por nuances retas, as dificuldades passaram ao plano dos projetos. O efetivo entendimento e execução de projetos como o museu de Bilbao jamais ocorreria sem o auxílio do computador. A maquete sempre foi, e ainda é, o meio mais eficaz para o entendimento de um projeto, porém a dimensão estanque, a fim de se obter um resultado preciso, só pode ser alcançada através de desenhos. As obras de Antoni Gaudí, executadas no final do século XIX e em sua maioria baseadas em maquetes, atingiram grande flexibilidade plástica, porém, apesar da grande inovação e qualidade com que foram executadas, devido a limitações técnicas, não seguem o mesmo teor nem contém a mesma ousadia das obras contemporâneas. Dos quatro estudos apresentados nota-se que até a Opera de Sydney seria dispensável o uso dos computadores, apesar do tempo de construção ainda mais extenso, seria possível calcular aquela estrutura sem a máquina, mas seria mais uma obra de gerações até sua conclusão. Na Catedral de Brasília assim foi, não houve a presença de computadores em nenhum momento, o que já não seria possível nas obras das duas pontes, sem a tecnologia do computador e o monitoramento da estabilidade das edificações, seria imprudente se executar tais arquiteturas.

Conclui-se que as tecnologias geradas em função da arquitetura e da engenharia construtiva, na eletrônica, pesquisas de novos materiais e na conceituação dos sistemas

estruturais, apenas forneceram meios para que os desígnios do homem de séculos pudessem de fato se concretizar.

A busca de grandes símbolos dentro da arquitetura se mostrou baseada em dois quesitos fundamentais, conhecimento técnico e criatividade inventiva, talvez os dois itens necessários para a constituição de qualquer iniciativa de sucesso; a gênese conceitual se mostrou, em todos os casos estudados, inerente ao repertório consciente de cada arquiteto, o que tentamos ampliar aqui foi justamente o conhecimento técnico e conceitual necessário ao desenvolvimento de estruturas ligadas a cultura contemporânea.



**Figura 1.(1)** – Laith Quaffaf – [www.trekearth.com](http://www.trekearth.com) - acessado: 17.01.2007

**Figura 1(2)** - [www.hberlioz.com/London](http://www.hberlioz.com/London) - acessado em: 17.01.2007

**Figura 2** - BOESIGER, W/ GIRSBERGER, 1971, Le Corbusier 1910-65

**Figura 1.1** - KULTERMANN, Udo, 1970, Kenzo Tange: 1946 – 1969

**Figura 1.2** – Celso Brando, [www.arcoweb.com.br](http://www.arcoweb.com.br) - acessado em: 12.04.2006

**Figura 1.3** - Borrego, J., *Space Grid Structures*, The MIT Press, Massachusetts and London, England, 1968, p. 80

**Figura 1.4** – [www.wikipedia.com](http://www.wikipedia.com) - acessado em: 12.04.2006

**Figura 1.5** – Bruno Takahashi C. de Oliveira, [www.linux.ime.usp.br](http://www.linux.ime.usp.br) – acessado em: 13.04.2006

**Figura 1.6** – [www.nyc-architecture.com](http://www.nyc-architecture.com) - acessado em: 13.04.2006

**Figura 1.7** – Arquivo Pessoal

**Figura 1.8** – [www.metallica.com.br](http://www.metallica.com.br) – acessado em: 13.04.2006

**Figura 1.9 – 1.12** - ENGEL, Heino, 2002, Sistemas Estruturais

**Figura 2.1.1** - LIMA, Sandra Maria de, 2006, Concreto de Alto Desempenho em Ambientes de Baixa Temperatura

**Figura 2.2.1** – Luís Andrade - DIAS, Luís Andrade de Mattos, 2002, Estruturas de aço: Conceitos, Técnicas e Linguagem

**Figura 2.2.2** – [www.whitemartins.com](http://www.whitemartins.com) - acessado em: 11.10.2006

**Figura 2.2.3** - FORTES, Cleber, 2005, Soldagem MIG/MAG

**Figura 2.2.4** - FORTES, Cleber, 2004, Arco Submerso

**Figura 2.3.1** - SOUZA, Adriano Fagali de; COELHO, Reginaldo Teixeira, 2003, Tecnologia CAD/CAM: Definições e Estado da Arte Visando Auxiliar sua Implantação em um Ambiente Fabril

**Figura 2.3.2** - STUNGO, Naomi, 2000, Frank Gehry

**Figura 4.1.1** - BRUAND, Yves, 1997, Arquitetura Contemporânea no Brasil

**Figura 4.1.2** - Dr. Kenneth P. Serbin, [www.home.earthlink.net](http://www.home.earthlink.net) - acessado em: 07.10.2006

**Figura 4.1.3** – Augusto Areal, [www.geocities.com](http://www.geocities.com) - acessado em: 07.10.2006

**Figura 4.1.4, 4.1.6** - GALVANE, James, 2004, A Engenharia de Estruturas na Arquitetura de Oscar Niemeyer

**Figura 4.1.7 – 4.1.10** - CLÍMACO, João Carlos Teatini de S., 2002, Catedral de Brasília: Histórico de Projeto / Execução e Análise da Estrutura

**Figura 4.2.1** – www.iccyber.org - acessado em: 15.11.2006

**Figura 4.2.2, 4.2.3** - ALMEIDA, Pedro Afonso de Oliveira; STUCCHI, Fernando Rebouças; RODRIGUES, José Fernando Souza; WAIMBERG, Marcelo; BERGER, Daniel, Aspectos Gerais sobre a Monitoração da Ponte JK sobre o Lago Paranoá em Brasília

**Figura 4.2.4 – 4.2.6** – www.metlica.com.br - acessado em:15.11.2006

**Figura 4.3.1** – Allen Pinto, www.trekearth.com - acessado em: 05.01.2006

**Figura 4.3.2 – 4.3.8** - 2006, Building a Masterpiece: the Sydney Opera House

**Figura 4.4.1 – 4.4.2** - Paolo Rosseli, 2002, The Making Of Calatrava's Bridge in Seville.

**Figura 4.4.3, 4.4.4** - 2002, The Making Of Calatrava's Bridge in Seville.

**Figura 4.4.5– 4.4.7/4.4.9–4.4.13** – Alberto Diaz Hermidas, 2002, The Making Of Calatrava's Bridge in Seville.

**Figura 4.4.8** - 2002, The Making Of Calatrava's Bridge in Seville.



## **Referências Bibliográficas**

---

ALMEIDA, Pedro Afonso de Oliveira; STUCCHI, Fernando Rebouças; RODRIGUES, José Fernando Souza; WAIMBERG, Marcelo; BERGER, Daniel, Aspectos Gerais sobre a Monitoração da Ponte JK sobre o Lago Paranoá em Brasília, V Simpósio EPUSP sobre estruturas de concreto: São Paulo – USP

ARANTES, Otília; VAINER; MARICATO, Ermínia (2000), A cidade do Pensamento Único, 3ª Edição, São Paulo, Ed. Vozes.

BENEVOLO, Leonardo (1993), A cidade na historia da Europa, Lisboa, Ed. Presença.  
BERMAN, Marchal (1986), Tudo que é sólido desmancha no ar, 1ª Edição, São Paulo, Ed. Companhia das Letras.

BITTENCOURT, Synval Antonio Barreiros (2001), O espaço fragmentado: questões da pós-modernidade na teoria da arquitetura, Dissertação de Mestrado: São Paulo – Fau Mackenzie  
BOESIGER, W/ GIRSBERGER, H (1971), Le Corbusier 1910-65, 1ª Edição, Barcelona, Ed. GG.

BRUAND, Yves (1997), Arquitetura Contemporânea no Brasil, 3ª Edição, São Paulo, Ed. Perspectiva.

CHAN, Alexandre (2003), Ponte JK: A Terceira Ponte do Lago Sul, Palestra ABM3.

CHEHADE, Gabriel Abrão (2004), Concreto de Alto Desempenho: Suas Características e Aplicabilidade com Ênfase em Pilares, Monografia, Universidade de Salvador, Curso de Engenharia.

CICCARELLI, Eduardo Roberto Giannella (2002), Evolução das estruturas metálicas, Dissertação de Mestrado: São Paulo – Fau Mackenzie

CLÍMACO, João Carlos Teatini de S. (2002), Catedral de Brasília: Histórico de Projeto / Execução e Análise da Estrutura, Revista Internacional de Desastres Naturales, Acidentes e Infraestructura Civil, p.21-30

COLQUHOUN, Alan (2004), Modernidade e Tradição Clássica, 1ª Edição, Ed. Cosac & Naif.

D' ALESSIO FERRARA, Lucrecia (1986), Leitura sem palavra, São Paulo, Ed. Ática.

D' ALESSIO FERRARA, Lucrecia (2000), Os significados urbanos, São Paulo, Ed. Universidade de São Paulo.

DESIDERE, Paolo (1982), Pier Luigi Nervi, Barcelona, Ed. GG.

DIAS, Luís Andrade de Mattos (2002), Estruturas de aço: Conceitos, Técnicas e Linguagem, 4ª Edição, São Paulo, Ed. Ziguarte

DIAS, Luís Andrade de Mattos (2004), Aço e Arquitetura: estudo de edificações no Brasil, São Paulo, Ed. Ziguarte

ECO, Umberto (1974), As formas do conteúdo, São Paulo, Ed. Perspectiva

- ENGEL, Heino (2002), Sistemas Estruturais, 2ª Edição, Barcelona, Ed. GG
- FORTES, Cleber (2004), Arco Submerso, Apostila de Soldagem, ESAB BR
- FORTES, Cleber (2005), Soldagem MIG/MAG, Apostila de Soldagem, ESAB BR
- GALVANE, James (2004), A Engenharia de Estruturas na Arquitetura de Oscar Niemeyer, Dissertação de Mestrado: São Paulo – EPEC USP
- GAUHS, Deborah (1983), Guias de Arquitetura - Le Cobusier, Barcelona, Ed. GG.
- HANAI, João Bento de (2005), Fundamentos do Concreto Protendido, Apostila, São Carlos, Curso de Engenharia Civil, USP EESC, Departamento de Engenharia de Estruturas.
- HARVEY, David (2004), A condição Pós-moderna, 13ª Edição, São Paulo, Ed. Loyola.
- JODIDIO, Philip (2001), Santiago Calatrava, Köln, Ed. Taschen.
- JUNG, Carl G. (2002), O Homem e seus Símbolos, Ed. Nova Fronteira.
- KEYS, Peter, The Sydney Opera House, Artigo, Revista Architectural in Australia, Dezembro de 1965, p.72
- KEYS, Peter, The Sydney Opera House: Progress Report, Artigo, Revista Architectural in Australia, Abril de 1968, p.01
- KEYS, Peter, The Sydney Opera House: Progress Report, Artigo, Revista Architectural in Australia, Junho de 1968
- KEYS, Peter, The Sydney Opera House: Progress Report, Artigo, Revista Architectural in Australia, Agosto de 1968
- KEYS, Peter, The Sydney Opera House: Progress Report, Artigo, Revista Architectural in Australia, Abril de 1970, p.286
- KEYS, Peter, The Sydney Opera House: Progress Report, Artigo, Revista Architectural in Australia, Fevereiro de 1972, p.73
- KULTERMANN, Udo (1970), Kenzo Tange: 1946 - 1969, Ed.GG
- LIMA, Sandra Maria de (2006), Concreto de Alto Desempenho em Ambientes de Baixa Temperatura, Dissertação de Mestrado, USP EESC, Departamento de Engenharia de Estruturas.
- NETTO, Teixeira Coelho (1997), A construção do sentido na arquitetura, 3ª Edição, São Paulo, Ed. Perspectiva.
- POLLALIS, Spiro N. (2002), The Making Of Calatrava's Bridge in Seville, 1ª Edição, United States of America, Ed. MIT Press

PORTO, Claudi Estrela, Estruturas Espaciais: Estado da Questão em 1950, Universidade de Brasília, Programa de Pós-Graduação.

REBELLO, Yopanan Conrado Pereira (2001), A Conceção Estrutural e a Arquitetura, Ed. Ziguarte

SOUZA, Adriano Fagali de; COELHO, Reginaldo Teixeira (2003), Tecnologia CAD/CAM: Definições e Estado da Arte Visando Auxiliar sua Implantação em um Ambiente Fabril, Congresso, XXIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Ouro Preto, Minas Gerais

STUNGO, Naomi (2000), Frank Gehry, 1ª Edição, São Paulo, Ed. Cosac & Naify

SUMMERSON, John (1999), A Linguagem Clássica da Arquitetura, 3ª Edição, São Paulo, Ed. Martins Fontes

VASCONCELOS, Augusto Carlos de (1992), Concreto no Brasil: recordes, realizações, história, 2ª Edição, São Paulo, Ed. Pini

VILANOVA, Artigas (1975), O Desenho, Texto de Aula Inaugural Pronunciada na FAU USP, Centro de Estudos Brasileiros da FAU-USP.

VILANOVA, Artigas (2004), Caminhos da Arquitetura, 4ª Edição, São Paulo, Ed. Cosac & Naify

VILLAC, Maria Isabel (2002), La Construcion de la Mirada, Tese de Dotorado.

WATSON, Anne; WESTON, Richard; GEDDES, Robert; DREW, Philip; TAFFS, David; NUTT, John; GREGSON, Sarah; NOBIS Philip (2006), Building a Masterpiece: the Sydney Opera House, 1ª Edição, Austrália, Powerhouse Museum, Ed. phm / LH

- Websites -

[www.arcoweb.com.br](http://www.arcoweb.com.br), acessado em: 21/12/2006

[www.arup.com](http://www.arup.com), acessado em: 22/12/2006

[www.calatrava.com](http://www.calatrava.com), acessado em: 21/12/2006

[www.metalica.com.br](http://www.metalica.com.br), acessado em: 15/12/2006

[www.sydneyoperahouse.com](http://www.sydneyoperahouse.com), acessado em: 06.01.2007-01-22

[www.whitemartins.com.br](http://www.whitemartins.com.br), acessado em: 11/10/2006

[www.wikipedia.com](http://www.wikipedia.com), acessado em: 13/05/2006

# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)