

## GRANDES COBERTURAS NA ARQUITETURA CONTEMPORÂNEA: Os estudos de casos do Sony Center e do Mercado de Santa Caterina<sup>1</sup>

### 1º AUTOR

MEIRELLES, Célia Regina Moretti; Doutora em Engenharia Civil - Universidade de São Paulo, Docente da Universidade Presbiteriana Mackenzie; São Paulo; Brasil; morettimeirelles@gmail.com

### 2º AUTOR

KISHI, Sunao; Mestre pela FAU- Mackenzie - SP. Docente da FAU - Mackenzie São Paulo; Brasil; sukishi@ig.com.br

### RESUMO

Este trabalho tem como propósito realizar a análise das técnicas construtivas aplicadas às coberturas contemporâneas, onde a forma e a estrutura têm um papel relevante frente aos condicionantes de projeto. O recorte escolhido são dois projetos que apresentam a concepção estrutural diferenciada, aplicam novos materiais e resgatam os conceitos tectônicos. A cobertura do Sony Center em Berlim do arquiteto Helmut Jahn e a cobertura do Mercado Santa Caterina em Barcelona de Enric Miralles. A metodologia empregada foi a realização da revisão da literatura, a experimentação, a visita ao local e uma análise das técnicas empregadas em cada projeto. No Sony Center, o arquiteto aplica conceitos de uma cobertura leve, ousada, cuja forma passa a mensagem de inovação, com aplicação de novos materiais, as membranas com teflon e fibra de vidro. No mercado Santa Caterina, o arquiteto incorpora as considerações tectônicas aplicadas na construção da cobertura, valoriza a forma plástica da cobertura e ao mesmo tempo resgata a história e a cultura local. Miralles apresenta um grande envolvimento com as técnicas construtivas. No Mercado Santa Caterina aplica uma estrutura mista em madeira laminada e aço tubular, evidenciando a estrutura. No revestimento da cobertura utiliza cerâmica colorida que remete as cores das frutas, o que alguns pesquisadores consideram como uma quinta fachada. A pesquisa pretende contribuir com a arquitetura, na medida em que novas ferramentas têm permitido a aplicação de estruturas e formas ousadas, a concepção de novas coberturas, a valorização do uso de modelos como forma de experimentação e seu rebatimento no ensino.

Palavras-chave: Coberturas; forma; estrutura.

---

<sup>1</sup> Este trabalho, envolve as pesquisas do Grupo Sistemas Construtivos na Arquitetura Contemporânea no contexto dos Processos Construtivos das Grandes Coberturas, é uma parte de uma pesquisa mais ampla, que foi parcialmente publicada na revista da arq. urb. n.8. 2012

**ABSTRACT**

This work aim of analyzing the construction techniques applied to roof contemporary, where the shape and structure have an important role in the face of the projects constraints. The clipping chosen are two projects that has a different structural design, materials and apply new concepts tectonic. The roofing of the Sony Center in Berlin architect Helmuth Jhan and roofing Market Santa Caterine of Enric Miralles in Barcelona. The methodology employed was the literature reviews, experimentation, site visit and a review of the techniques used in each project. In the Sony Center architect applies concepts from a light coverage, he showed one message of innovation when he applied new materials, Teflon fiberglass membranes. In Santa Catherine market the architect values tectonic applied in the construction of roofing, values the way plastic roof while retrieves history and local culture. Miralles has a great involvement with the construction techniques, applies a mixed structure in laminated wood and tubular steel, where the structure is evident, and the roof covering was used colorful ceramics, this is referring colors of fruit. Some researchers consider roofing a fifth facade. The research aims of contributing to the architecture, to extent that new tools had created opportunities to apply shapes and structures on designing new roofs, on the appreciation of models as a form of experimentation and effects on education.

Keywords: Roofing; Form; Structure; Tectonics.

**RESUMEN**

Este estudio tiene como objetivo realizar el análisis de las técnicas de construcción aplicadas a las cubiertas contemporáneas, donde la forma y la estructura juegan un papel importante frente a los condicionantes del diseño. Se han elegido dos proyectos que presentan conceptos estructurales diferenciados, donde se aplican nuevos materiales y se recuperan conceptos tectónicos. La cubierta del Sony Center, en Berlín, del arquitecto Helmuth Jhan y la cubierta del mercado de Santa Caterine, de Enric Miralles, en Barcelona. La metodología aplicada fue la realización de una revisión de la literatura, la experimentación, la visita al local y un análisis de las técnicas utilizadas en cada proyecto. En el Sony Center el arquitecto aplica conceptos de una cubierta liviana, osada, cuya forma pasa el mensaje de innovación, con la aplicación de nuevos materiales, las membranas de teflón y fibra de vidrio. En el mercado Santa Catarine el arquitecto valoriza las consideraciones tectónicas aplicadas a la construcción de la cubierta, valoriza la forma plástica de la cubierta y al mismo tiempo recupera la historia y la cultura locales. Miralles presenta un gran involucrimiento con las técnicas constructivas. En el mercado Santa Catarine aplica una estructura mixta en madera laminada y acero tubular, donde la estructura queda evidente, en el revestimiento de la cubierta utiliza cerámica colorida que remite a los colores de la frutas, algunos investigadores consideran que la cubierta es como una quinta cerrada. La investigación pretende contribuir a la arquitectura, en la medida en que nuevas herramientas permiten posibilidades de aplicación en estructuras y formas osadas, en la concepción de nuevas cubiertas, en la valorización del uso de modelos como forma de experimentación y su reflejo en la enseñanza.

Palabras clave: Cubiertas. Forma. Estructura.

## GRANDES COBERTURAS NA ARQUITETURA CONTEMPORÂNEA: Os estudos de casos do Sony Center e do Mercado de Santa Caterina

### INTRODUÇÃO

As coberturas de espaços públicos ou semipúblicos, como estádios, museus, mercados municipais, igrejas e praças, promovem um local de integração e convívio de grupos sociais. Esses projetos são marcos arquitetônicos, apresentando formas diferenciadas que definem o espaço por meio de sua linguagem e função na cidade. A busca por soluções otimizadas para cobrir os grandes espaços, em termos de forma e estrutura, vem orientando o desenvolvimento tecnológico nos últimos cem anos.

As principais preocupações, das próximas gerações, devem se voltar para os esgotamentos dos materiais naturais do planeta, devido ao aumento das populações e de processos construtivos que não consideram os conceitos sustentáveis. A arquitetura deverá oferecer contribuições na busca de processos construtivos que minimizem o consumo de materiais naturais.

A procura por processos construtivos sustentáveis tem levado arquitetos e engenheiros a pesquisar sistemas leves que possam ser aplicados nas grandes coberturas, associados a formas geométricas de grande eficiência estrutural. O renomado arquiteto Frei Otto, durante sua vida acadêmica, produziu extensa investigação por formas eficientes que minimizam os gastos com materiais, mas sem deixar de considerar a beleza estética. O termo eficiência aqui relatado determina uma maior resistência com menores espessuras.

As estruturas da natureza de dupla curvatura, como as cascas e membranas, são elementos esbeltos. Apresentam uma grande eficiência, pois naturalmente otimizam a forma e o caminho dos esforços, em virtude de suas características. As formas de coberturas de dupla curvatura determinam elementos mais esbeltos e

leves, quando comparadas com as formas de simples curvatura ou com formas retas, como os pórticos.

Cada projeto tem suas características como, as condicionantes de projeto, do local, e das tecnologias disponíveis. Na abordagem das grandes coberturas é fundamental buscar a otimização do peso da cobertura, por meio de fatores como a forma e a seleção de sistemas construtivos mais leves.

A presente pesquisa tem como propósito realizar a análise das técnicas construtivas aplicadas às grandes coberturas contemporâneas, em que a forma e a estrutura têm um papel relevante frente aos condicionantes de projeto. O recorte escolhido são dois projetos que apresentam a concepção estrutural diferenciada, aplicam novos materiais e resgatam os conceitos tectônicos. São eles a cobertura do Sony Center em Berlim, do arquiteto Helmut Jahn, e a cobertura do Mercado Santa Caterina em Barcelona, de Enric Miralles. Será realizada uma análise comparativa da eficiência da forma na estrutura entre os dois projetos.

## 1. A TECTÔNICA E A MATERIALIDADE

Para a materialização do projeto de arquitetura, a sua construção depende das tecnologias disponíveis no local e no tempo, da cultura dos povos frente às técnicas construtivas, das condicionantes de projeto etc. Segundo Amaral e Chupin (2009), o conceito tectônico na arquitetura está diretamente associado à “arte da construção”. Kenneth Frampton (2001), no livro **Studies in tectonic culture**, discute o conceito de modo abrangente, unindo a materialidade da arquitetura às condicionantes locais, ambientais, culturais e estéticas. Frampton enfatiza a importância da conotação poética nas ações do arquiteto frente as decisões de projeto.

A expressão Tectônica considerada por Frampton é observada no discurso de arquitetos como Peter Zumthor, Enric Miralles e Frei Otto, pois procuram aplicar em seus projetos materiais adequados ao contexto e ao lugar, além de considerar elementos como linguagem, sensibilidade e criatividade. Zumthor (2006), no livro

“Pensar a Arquitectura”, discute o seu modo de projetar, bem como seu procedimento para que os materiais assumam qualidades, sensoriais e poéticas.

Para tal efeito é necessário criar no próprio objeto uma coerência de forma e sentido; uma vez que os materiais em si não são poéticos. O sentido que se deve criar no contexto do material encontra-se para além das regras de composição, e também da sensibilidade, o cheiro, a expressão acústica elementos de linguagem que temos que utilizar. (ZUMTOR, 2006)

Frei Otto, observando os problemas enfrentados durante o pós-guerra pela Alemanha para sua reconstrução, com técnicas construtivas pesadas, associadas à falta de qualidade estética e escassez de material, começa a buscar por meio da experimentação formas que aplicassem uma quantidade mínima de material, considerando o valor estético. Segundo Cappellato; Guazzaniga (1995), Otto considera “o potencial dos materiais nas questões de percepção e do sentimento”.

## 2. FORMA E ESTRUTURA

Em 1890, Antoni Gaudí aplicou o conceito do uso de maquetes em escala reduzida para definir as formas funiculares. Aplicando fios e pesos proporcionais aos que utilizaria na construção dos edifícios, ele alcançava formas curvas puramente tracionadas; invertendo-as ele obtinha as curvas puramente comprimidas, portanto aplicáveis aos materiais locais como as alvenarias e pedras, que apresentam uma pequena resistência à tração. (INSTITUTO TOMIE OHTAKE, 2004)

As estruturas retas, como os pórticos, lajes e vigas, são estruturas submetidas à flexão e, portanto, submetidas à compressão e à tração, enquanto as estruturas curvas podem ser muito eficientes, uma vez que ficam submetidas às tensões puras chamadas de tensões de membrana, como as estruturas das bolhas de sabão. As superfícies curvas mais conhecidas são as abóbadas em simples curvatura, as de dupla curvatura sinclástica (cúpulas e paraboloides elípticos) e as superfícies de

dupla curvatura anticlástica (paraboloides hiperbólicos). As estruturas de superfície em dupla curvatura são mais eficientes que as de simples curvatura. (BAIXAS, 2005)

Na busca de estruturas eficientes, Heinz Isler construiu entre 1960 e 1980 uma série de coberturas em casca fina com concreto armado. Isler realizava uma série de experimentos com modelos físicos para determinar a forma final da cobertura. Um de seus modelos, chamado de membrana pendente, partia de tecido pendurado para gerar a superfície curva conhecida por funicular. O modelo de Isler permite criar uma superfície curva mais perfeita que os modelos com fios utilizados por Gaudí. Isler aplicava um produto para endurecer a forma tracionada e invertendo-a trabalhava na forma puramente comprimida. (CHILTON, 2000)

Nos últimos 30 anos, o desenvolvimento tecnológico foi muito significativo, no desenvolvimento das ferramentas digitais associadas ao desenho 3D, na simulação e produção de maquetes 3D e na produção de componentes da construção.

Entretanto, ainda existe um extenso caminho a ser percorrido na produção e na automação da construção civil. Na construção civil, um dos materiais que mais apresentou evolução tecnológica foi a fibra de vidro, que, misturada com as argamassas, permite a produção de painéis de fechamento de excelente qualidade e finos, e misturada com concreto estrutural define uma alta resistência, como por exemplo o microconcreto, chamado de Ductal desenvolvido pela empresa francesa Lafarge. (ADDIS, 2009) Entre outros avanços da fibra de vidro, podemos destacar os tecidos de alta resistência (aramida) produzidos a partir da fibra de vidro revestida de teflon (PTFE), que apresenta durabilidade média de 15 a 25 anos e um peso de 1kg/m<sup>2</sup>. (ADDIS, 2009)

As estruturas em membrana devem ser concebidas a partir de formas básicas, como paraboloides hiperbólicos associados a mastros de elevação e pontos de ancoragem (sela de cavalo); associação de cones com formatos hiperbólicos (funil ou cobertura de circo); associação de arcos sobre os quais se pendura o tecido (arcos de elevação); formas de dobraduras etc. A figura 1 mostra três formas básicas. Cada esquema básico permite várias composições e derivações, uma vez que a

montagem promova tensionamento do tecido. As superfícies tensionadas, em malha de cabo de aço ou cabos de aço associados a membranas, devem ter uma forma de dupla curvatura “anticlástica” em tração, para a estabilidade. As estruturas infladas podem ter dupla curvatura sinclástica.

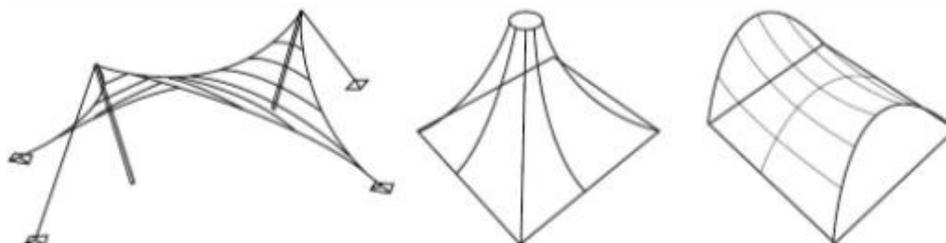


Figura 1: Formas básicas para gerar as formas em tenso-estrutura em membrana  
Fonte: autores, 2012

O principal arquiteto a desenvolver a tecnologia da membrana em associação com malha de cabo de aço foi Frei Otto, que começou sua pesquisa entre 1960 e 1970, na Universidade de Stuttgart. Foi o primeiro pesquisador a estudar o sistema estrutural e propor seu estudo por meio de modelos físicos, criando formas complexas de grande beleza. Otto propõe uma metodologia para projetar as superfícies, com auxílio de modelos físicos. As estruturas são formadas por uma rede de cabo de aço e/ou tecido de alta resistência, associadas à dupla curvatura e protensão, de tal forma a composição final ficar estável por meio de esforços de tração, chamados de tensão de membrana. Para definir a forma, Otto utilizava modelos físicos em escala reduzida feitos com arame, mergulhados em um tanque com bolha de sabão. A superfície definida pela superfície da bolha, em tração, era fotografada para definir a forma da superfície e o padrão de corte no tecido. O cálculo estrutural na época era difícil, devido às formas complexas serem dependentes do carregamento, somado à pequena capacidade dos computadores. Em 1972, Otto projeta a cobertura do estádio das Olimpíadas de Munique, em trama de cabos de aço, tendo sido um marco, pois foi o primeiro projeto a aplicar o uso do computador para auxiliar no cálculo estrutural. Neste caso, a forma foi

encontrada comparando os resultados numéricos dos modelos matemáticos à forma dos modelos físicos. (ADDIS, 2009)

Em 1990, o escritório de cálculo estrutural de Anthony Hunt utilizou programas de modelagem da forma para determinar a forma tensionada no projeto Don Valley Stadium, na cidade de Sheffield na Inglaterra, que permitem a sensação de manipular uma maquete física e calcular padrões de corte nos tecidos em um processo iterativo. (ADDIS, 2009) Hoje, o *software* mais reconhecido na busca da forma é o EASY da empresa Technet com sede em Berlim, que oferece modelagem da forma, simulando as deformações que ocorrem nos modelos quando carregados, determinando a superfície tensionada que as membranas devem assumir em um processo conhecido como *formfind*. O programa determina o padrão de corte de tecido e pontos de tensões máximas em elementos finitos. Entretanto, a grande maioria dos projetistas de estruturas tensionadas utilizam maquetes físicas para auxiliar a concepção da estrutura e a criatividade.

Os principais discípulos de Otto foram os arquitetos Horst Berger e Hemult Jahn. Berger com diversos projetos tensionados, entre os quais o Aeroporto Internacional de Denver, o Estádio Internacional Rei Fahd na Arábia Saudita e o Centro de Convenções de San Diego. Hemult Jahn com as coberturas do Hotel Kempinski de Munique, a cobertura do aeroporto de Munique e o projeto da cobertura do Sony Center em Berlim; projetos de grande ousadia estrutural, em que as novas tecnologias construtivas são uma expressão do projeto e da evolução tecnológica do material.

### 3. ESTUDOS DE OBRAS REFERENCIAIS

#### 3.1 A COBERTURA DO SONY CENTER - HEMULT JAHN

O Sony Center fica localizado no centro velho de Berlim, local que foi destruído durante a Segunda Guerra Mundial. Após a queda da Alemanha Oriental em 1989, o

governo realizou concursos para a recuperação de edifícios com importância histórica. O arquiteto Hemult Jahn foi o vencedor do concurso em 1992 para elaborar a sede da Sony na Europa, no centro antigo chamado Postdamer Platz, um conjunto de sete edifícios de múltiplos usos como “escritórios e apartamentos, lojas, comércios e restaurantes, cinemas e teatros, uma midiateca”, entre outros usos. O conjunto abriga também a parte que restou do Hotel Esplanade, edifício remanescente da Segunda Guerra. A implantação de cinco edifícios no terreno criou uma praça central. Para o espaço o arquiteto propôs uma grande cobertura que criasse um ambiente dinâmico, interativo, além de proporcionar um espaço agradável em condições de temperaturas extremas.

A grande cobertura aplica os princípios da tenso-estrutura, como um “guarda-chuva”, com 102 metros no maior eixo e 77 metros no menor eixo, que em planta define uma forma elíptica. A estrutura é composta de três sistemas, o anel de borda, a trama de cabos de aço que suporta os elementos do telhado e um sistema de protensão associado ao mastro de elevação. O sistema de protensão é um sistema circular fechado, para que os empuxos não descarregassem nos edifícios, como acontece em uma roda de bicicleta.

A estrutura principal que suporta todo o peso da cobertura é um anel, em treliça espacial prismática, apoiado sobre cinco edifícios. O anel tem 4,4 metros de altura. A estrutura secundária trabalha como uma teia de aranha, com uma trama, com cabos longitudinais estabilizados por cabos radiais. Os cabos longitudinais estão pendurados no anel prismático, em duas camadas com alturas diferentes, para produzir as tensões de tração no tecido, por dobradura. Os cabos inferiores levantam a estrutura, devido à protensão do mastro central.



Figura 2: A) Parte do antigo Hotel Esplanade; B) Postdamer Platz; C) Cobertura do espaço central dos edifícios; D) Espaço de convivência sob a cobertura. Fonte: autores, 2006

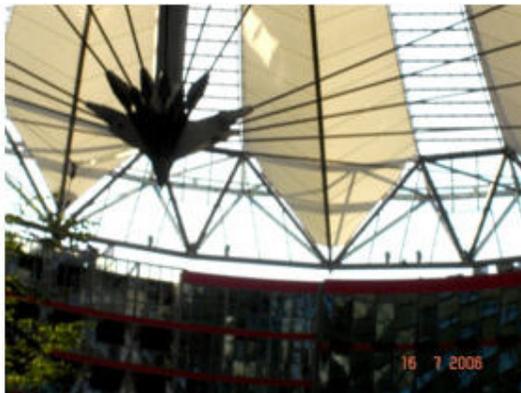
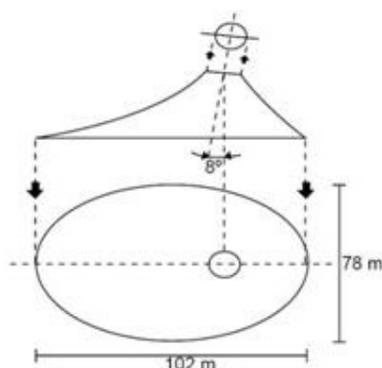


Figura 3: Sony Center; A) Planta da área da cobertura Sony Center, posição final do mastro; B) Detalhe do mastro inclinado, cabos de aço e da treliça prismática. Fonte: autores, 2006.

Segundo Clarke; Danziger; Schulte (2000), a ARUP foi a empresa responsável pelo ajuste da forma e pelo cálculo estrutural. Para obter uma superfície puramente tracionada, foram simulados diferentes carregamentos. Cada proposta de carregamento resultou num ajuste da forma, exigindo a construção de modelos físicos em associação com modelos numéricos. Na modelagem numérica da forma e corte do tecido, foram aplicados os programas Fablon e GSA. A forma final da membrana, na cobertura do Sony Center, é de um cone hiperbólico, “com eixo do mastro levemente inclinado num ângulo de 8 graus”.

Com a finalidade de modelar a estrutura em elementos finitos, a ARUP aplicou o programa SAP2000PLUS. Foram simuladas diversas situações com carregamentos acidentais, como vento, neve, fogo e carregamentos permanentes, como o peso próprio do vidro da membrana, do mastro central e dos cabos. (CLARKE; DANZIGER; SCHULTE; 2000)

Para liberar o projeto, a prefeitura exigiu condições especiais de iluminação e ventilação natural dos edifícios voltados para a praça. A fim de cumprir a exigência da iluminação natural, foi utilizada a aplicação de vidro sobre uma trama de cabo

de aço, associada à membrana de fibra de vidro com teflon (PTFE). A translucidez da membrana possibilita a projeção de luzes com cores diferentes, criando um efeito, possível de ser visto no período noturno.

### 3.2 A COBERTURA DO MERCADO DE SANTA CATERINA - ENRIC MIRALLES

No projeto de reabilitação do antigo Mercado de Santa Caterina de 1848, situado na “cidade velha”, no bairro da Ribera em Barcelona, foram encarregados, em 1995, os arquitetos Enric Miralles e Benedetta Tagliabue. Tagliabue (2000) aponta que na centralidade do mercado existem projetos de grande relevância que “jogam com a história e as pré-existências, projetos onde o entorno histórico consegue fazer com que a arquitetura tome um caráter inesperado”. Parte do mercado foi construído sobre “ruínas de um antigo monastério” e as paredes externas deveriam ser preservadas, devido aos traços de sua arquitetura. A intenção de Miralles era “abrir o mercado para cidade e cidade para sua história”.

As obras se iniciaram em 1997 e, em 2000, morre Enric Miralles. Entretanto, a revitalização do mercado foi possível, pois as obras ficaram sob coordenação da arquiteta Benedetta Tagliabue e de seu escritório, o EMBT. A construção foi concluída em 2005. A intenção de Miralles foi revitalizar o entorno e, ao mesmo tempo, mimetizar-se com o entorno, “mas projetando para o futuro”, construindo um equipamento da cidade que resiste às transformações do tempo. Tagliabue afirma que os arquitetos pretendiam que as pessoas no “espaço tenham a familiaridade de uma casa”. (TAGLIABUE, 2000)

A principal característica do projeto é a forma ousada da cobertura que cobre o espaço, sem apoiar-se nas paredes antigas, com apoio em pilares independentes, criando balanços. Nos pilares foi aplicada a composição da estrutura com elementos tubulares em aço, formando uma ossatura, empregando o conceito de sistemas leves. Miralles afirmava que a forma e o projeto não nascem de um gesto, mas de muito trabalho, e uma extensa pesquisa que olha para o passado e mira o futuro. (TAGLIABUE, 2000)

A cobertura é formada por cinco abóbadas, em simples curvatura sinclástica. A figura 4A mostra três abóbadas, vistas da Avenida Cambó, intercaladas com duas abóbadas mais baixas que só podem ser vistas de cima ou dentro do espaço. A central define um parabolóide hiperbólico. Os elementos de suporte dos revestimentos da cobertura são arcos sinclásticos, em madeira laminada com diferentes alturas, gerando as formas diferenciadas observadas. As duas laterais da cobertura são retas levemente inclinadas, fazendo parte do restauro do antigo mercado. Nesta área foram preservadas as tesouras em madeira do antigo mercado, figura 4 H.

Na área central do mercado, para criar um espaço amplo, Miralles utiliza três arcos metálicos em treliça prismática, com 42 metros de vão livre. A área central da cobertura foi pendurada nos arcos metálicos. Os pequenos arcos de madeira laminada (formam as abóbadas) descarregam nas vigas metálicas treliçadas, e estas definem o contorno das abóbadas, portanto apresentam “seção variável e diretriz variável”. Na parte externa, as treliças de contorno apoiam-se na composição de elementos tubulares, na área interna em pilares de concreto, e na área central estão atirantadas nos três arcos metálicos. Os grandes arcos prismáticos, descarregam em pilares elevados no chão, com tirantes horizontais para estabilizar o empuxo. (RIVAS, 2005) As imagens das figuras 4E e 4F mostram os detalhes da estrutura interna, os arcos de madeira, as vigas treliças de contorno e o nascimento do arco central em treliça prismática.

Na fachada da avenida Cambó, a estrutura da cobertura passa por cima das paredes antigas e a cobertura surge livre, com balanços demarcando a entrada e gerando um espaço público que se integra à cidade. A estrutura da cobertura está apoiada em quatro pilares compostos de vários tubos, em forma de árvore, que suportam os balanços ( figura 4C) e vigas treliças, que seguram as abóbadas. Na fachada posterior, chamada de Praça Joan Capri, a cobertura está apoiada em dois pilares mistos de concreto, na base, e em tubos de aço curvados, na parte superior (figura 4D). (RIVAS, 2000)

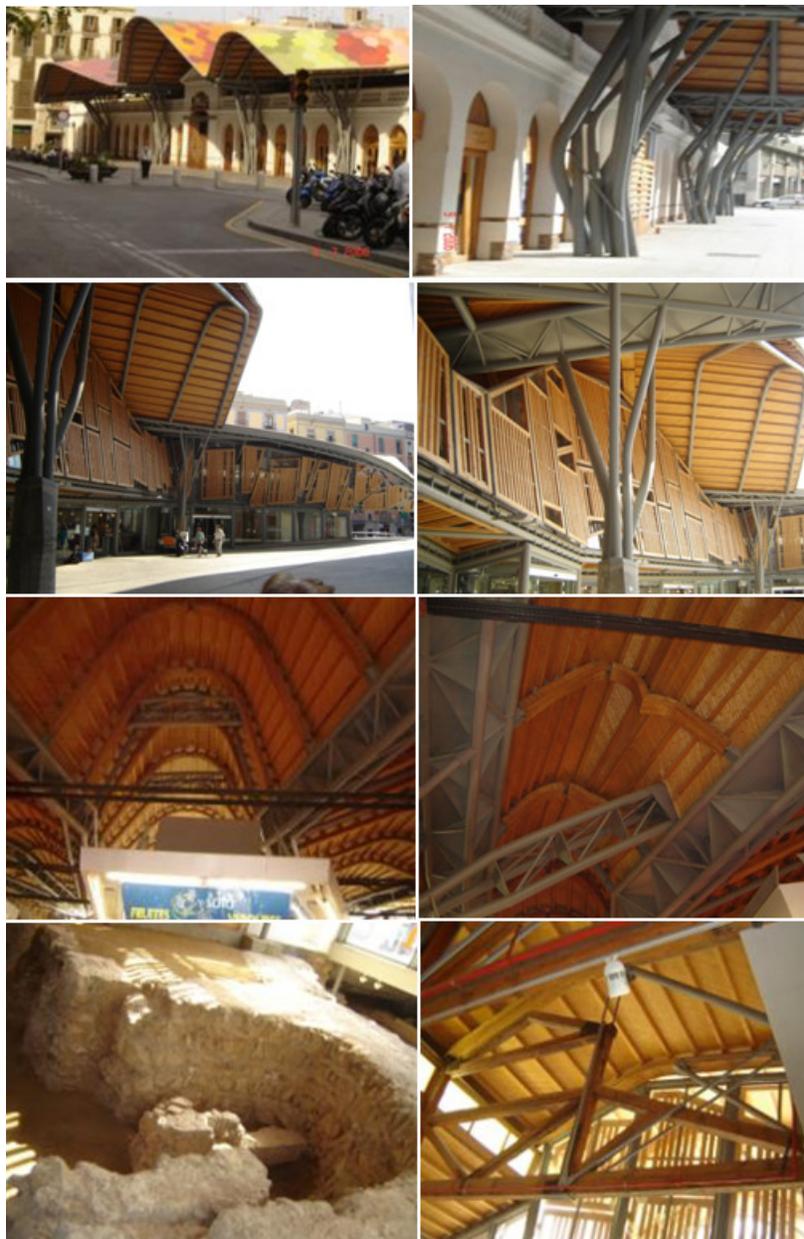


Figura 4: Mercado Santa Caterina em Barcelona; A) Cobertura da entrada na Av. Cambó; B) Pilares na Av. Cambó; C) Praça Joan Capri; D) Detalhe do pilar e brise da Praça Joan Capri; E) Estruturas na parte interna; F) Detalhe do grande arco treliçado; G) Ruínas do mosteiro; H) Estruturas de tesouras preservadas do antigo mercado. Fonte: autores, 2006

Enric Miralles, integra diversas tecnologias como o aço, o concreto armado, o concreto protendido, a madeira laminada, associando sistemas estruturais diferenciados vigas treliça prismáticas devido a sua leveza. Tagliabue (2000) demonstra o uso de modelos físicos no processo de projeto, mas aponta que o uso dos diversos sistemas foi possível devido ao apoio de programas de cálculo que possibilitam a modelagem dos diferentes materiais. (RIVAS, 2005)

No processo construtivo da cobertura, Miralles associa diferentes formas em arco e cria um projeto que se destaca das edificações do entorno e, ao mesmo tempo, se mimetiza no entorno, quando faz referência a Gaudí, na forma da cobertura e no desenho dos pilares. Este aspecto também pode ser observado nos materiais de vedação, quando ele desenha diferentes painéis de fechamento e nos arcos de madeira.

O revestimento da cobertura é uma das características de relevância do projeto. O arquiteto visualizou o potencial da superfície da cobertura como a quinta fachada, revestido em cerâmica com as cores e texturas da terra e das frutas. O desenho da composição do mosaico é do artista plástico Toni Cornella. Sobre os arcos de madeira laminada existem diversas camadas, como o forro em painéis de madeira, uma camada de isolamento em lã de rocha, uma manta impermeabilizante e, como revestimento final, a camada de mosaico. O mosaico foi produzido especialmente para o projeto, além das cores, do desenhos, também foi fabricado mais leve, com 92 kg/m<sup>2</sup>.

### 3.3 A EFICIÊNCIA DA FORMA NAS COBERTURAS DO SONY CENTER E DO MERCADO SANTA CATERINA

A tabela da figura 5, que analisa a eficiência da relação entre forma e estrutura, foi desenvolvida pelos autores em uma pesquisa mais ampla que contempla a análise da estrutura na concepção das grandes coberturas, com

base em diversos autores como Baixas (2005), Chilton (2000) e Engel (ano). A análise comprova que as formas de dupla curvatura determinam elementos mais esbeltos e leves, quando comparadas com as formas de simples curvatura ou com formas retas como os pórticos.

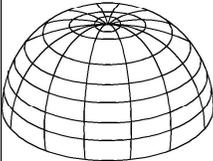
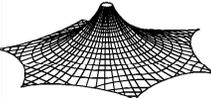
| FORMAS              | FORMA RETA  | SIMPLES CURVATURA   | DUPLA CURVATURA  |   |
|---------------------|---|---|--|---|
|                     |  |  |  |  |
| TENSÕES             | FLEXÃO  | COMPRESSÃO  | COMPRESSÃO   | TRAÇÃO  |
| PRÉ DIMENSIONAMENTO | 6% a 10% L  | 2% L  | 2% a 1% L  | < 1% L  |
| EFICIÊNCIA          | baixa eficiência → média eficiência → alta eficiência                             |   |  |   |

Figura 5: Eficiência da forma *versus* estrutura. Fonte: autores, 2014.

A cobertura do Sony Center em Berlim, com 102x77 metros, apresenta a forma em dupla curvatura anticlástica, definindo uma superfície tracionada, associado a um sistema de protensão do mastro central. Os dois fatores permitem a aplicação da membrana e promovem um sistema de cobertura extremamente leve e esbelto. Considerando a classificação da eficiência da forma e sua relação na estrutura, apresentando na figura 5, no Sony Center a forma conduz a alta eficiência estrutural. A membrana pesa em média 1 kg/m<sup>2</sup>, e o peso dos componentes do sistema, na região da cobertura, é de aproximadamente 60 kg/m<sup>2</sup>. A concepção da cobertura do Sony Center aplica uma das tecnologias construtivas mais inovadoras do mundo e ao mesmo tempo minimiza os materiais com sua forma puramente tracionada.

No Mercado de Santa Caterina, Miralles utiliza diversos materiais e sistemas estruturais na composição da cobertura. As formas mais aplicadas na cobertura são

abobadas, geradas a partir de arcos paralelos em simples curvatura. Estes trabalham com esforços predominantemente em compressão. Portanto, considerando a classificação da figura 5, a forma apresenta eficiência estrutural média. Entretanto, os arquitetos aplicaram neste projeto sistemas estruturais leves, como a treliça e a madeira laminada, demonstrando o domínio da tecnologia e compensando as diferenças impostas pela forma de simples curvatura.

#### 4. CONCLUSÃO

A pesquisa demonstra que nos projetos das grandes coberturas é fundamental a otimização da estrutura por meios dos fatores, como a forma, a seleção de sistemas construtivos mais leves como as treliças e materiais mais leves. A aplicação da madeira pode resultar em uma cobertura três vezes mais leve que uma cobertura em aço. A pesquisa comprova que as formas de dupla curvatura determinam elementos mais esbeltos e leves, quando comparado a formas de simples curvatura, e em relação a formas retas.

Observamos a importância da pesquisa investigativa, realizada nos dois projetos, e destacamos que a aplicação de maquetes e modelos físicos ajudaram a aumentar a percepção do espaço e o entendimento da estrutura.

A técnica da tenso-estrutura permite a composição de uma cobertura de grande beleza, leve e ousada, como observado no projeto do Sony Center de Helmut Jahn, e faz com que o projeto represente um marco referencial no local, sendo hoje um dos locais mais visitados de Berlim. A busca de soluções mais diferenciadas, como a do projeto da cobertura de Santa Caterina, de Miralles, uma estrutura mista, demonstra a importância do conhecimento das técnicas construtivas e de soluções leves e sustentáveis e um respeito à cultura e ao local. Miralles inova ao associar o aço, a madeira e o concreto, mas resgata a memória de Gaudí ao aplicar a cerâmica e as formas curvas.

O desenvolvimento tecnológico e o domínio do comportamento da tenso-estrutura é atribuído a Frei Otto e sua pesquisa experimental. Hoje, é possível modelar a estrutura e o corte do tecido por programas computacionais, entretanto destacamos a importância do uso de modelos físicos como metodologia de projeto, em especial para as estruturas tensionadas, como foi considerado por Helmut Jahn, no projeto do Sony Center.

## REFERÊNCIAS

- ADDIS, Bill. **3000 anos de projeto, engenharia e construção**. Porto Alegre: Bookman, 2009.
- AMARAL, Izabel; CUPHIN, Jean Pierre. **Quase tudo que você queria saber sobre tectônica, mas tinha vergonha de perguntar**. Pós. Revista do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da FAUUSP, São Paulo, v. 16, n. 26, dez. 2009. Disponível em: <<http://www.revistasusp.sibi.usp.br/pdf/posfau/n26/10.pdf>>. Acesso em: 10 jun. 2012.
- BAIXAS, Ignacio Juan. **Forma resistente**. Santiago do Chile: Ediciones ARQ, 2005.
- CAPPELLATO, Gabriele; GUAZZANIGA, Luca. **Esperienze di Architettura: generazioi a confronto**. Mendrisio: SKIRA, 1995.
- CHILTON, John; ISLER, Heinz. **The Engineer's Contribution to Contemporary Architecture**. London: Thomas Telford Publishing, 2000.
- CLARKE, R.; DANZIGER, B.; SCHULTE, R. Forum Roof, Sony Center, Berlin: Innovation Beyond form follows force. **The ARUP Journal**, Berlin, n.2, 2000.
- EMBT. Mercat de Santa Caterina. **Revista Obras e Projectos**, Barcelona, n.56, 2010.
- ENGEL, Heino. **Sistemas de Estructuras**. Barcelona: Editorial Gustavo Gili, 2003.
- EURO-INOX. **Sony Center in Berlin**. Berlin: EURO-INOX, 2003.
- FRAMPTON, Kenneth. **Studies in Tectonic Culture: The Poetics of Construction in Nineteenth and Twentieth Century Architecture**. MIT Press: Cambridge, 2001.
- INSTITUTO TOMIE OHTAKE. **Gaudí: a procura da forma**. São Paulo: Instituto Tomie Ohtake, 2004.
- RIVAS, José Velasco. La cubierta del Mercat de Santa Caterina en Barcelona 1997-2005. **Revista de Obras Publicas** Barcelona, n. 3456, jun. 2005.
- TAGLIABUE, Benedetta. In: Notas del estudio EMBT desde 1995. Agosto de 2000. In: Enric Miralles 1983 a 2000. **Revista El Croquis**, Barcelona: 304950+72+100/10, 2005. p. 20.
- TECHNET. Disponível em: <<http://www.technet-gmbh.de/index.php?id=41>>. Acesso em: 13 ago. 2012.

2013.2 39

[CADERNOS DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO]

<http://www.mackenzie.br/dhtm/seer/index.php/cpgau>

ISSN 1809-4120

---

ZUMTHOR, Peter. **Pensar a arquitetura**. Barcelona: Gustavo Gili, 2006.