

**FÉLIX CANDELA, PARABOLOIDES HIPERBÓLICOS E A ARQUITETURA PAULISTA:
ESTUDO DE CASOS**

**FELIX CANDELA, HYPERBOLIC PARABOLOIDS AND PAULISTA ARCHITECTURE: CASE
STUDY**

**FÉLIX CANDELA, PARABOLOIDES HIPERBÓLICOS Y LA ARQUITECTURA PAULISTA:
ESTUDIO DE CASOS**

1º AUTOR

Meirelles, Célia Regina Moretti; Engenheira Civil, Profa. Dra.; Universidade Prebiteriana Mackenzie; São Paulo, Brasil; morettimeirelles@gmail.com

2º AUTOR

Medrano, Ricardo Hernan; Arquiteto e Urbanista; Bacharel em Física; Prof. Dr.; Universidade Prebiteriana Mackenzie; São Paulo, Brasil; hmedrano@gmail.com

RESUMO

A plasticidade do concreto armado permitiu a criação de espaços amplos possibilitando a execução de superfícies com formas diferenciadas. O arquiteto Félix Candela contribuiu de modo significativo para o domínio técnico do concreto armado e sua aplicação em cascas finas, aplicando as equações de membrana às formas geométricas reconhecidas, os paraboloides hiperbólicos. Os objetivos desta pesquisa são manter em evidência a obra de Félix Candela, e identificar a expressão dele na arquitetura Paulista, buscando obras onde ocorreram a apropriação dos conceitos aplicados na busca da forma e/ou das técnicas de Candela. O método foi estruturado a partir de estudos de casos, com seleção das obras a partir de um levantamento de publicações na revista Acrópole (de 1950 a 1970), entre elas o Centro de Serviço e Combustíveis da Cooperativa Agrícola de Cotia, de 1958, e as estações de trem da antiga Mogiana Paulista, de 1964. Como também de obras de grande relevância, como a cobertura do mercado municipal de Pirituba, inaugurado em 1972, e as coberturas dos terminais de ônibus do metrô Ana Rosa e Vila Mariana, inauguradas em 1974. As etapas constam de revisão da literatura, e investigação em campo, com visitas às obras no México e São Paulo. O trabalho evidencia a presença de obras na arquitetura paulista que, sem perder sua singularidade, se aproximam das ideias e obra de Félix Candela.

Palavras-chave: Félix Candela; Cascas; Parabolóide hiperbólico.

ABSTRACT

The plasticity of concrete allows the creation of large spaces enabling the execution of surfaces with different shapes. The architect Felix Candela contributed significantly to the technical field of reinforced concrete and its application in thin shells, applying the membrane equations to geometric forms known as hyperbolic paraboloids. The objectives of this research are to keep in evidence the work of Felix Candela, and identify the expression of Félix Candela concepts in Paulista architecture, searching for works where occurred the appropriation of concepts applied in the investigation of form and/or Candela techniques. The method was structured from case studies with the selection of works as part of a survey of published works on the Acrópole magazine (1950-1970), as the Centro de Serviço e Combustíveis da Cooperativa Agrícola de Cotia, 1958, and train stations of antique Mogiana Paulista, 1964. In addition, other very important works such as roofing of Pirituba municipal market, opened in 1972, and the metropolitan bus terminals Ana Rosa and Vila Mariana, inaugurated in 1974. The steps consist of bibliographic review, and field research with visits to the works in Mexico and São Paulo. The study shows the presence of works in Paulista architecture that, without losing its uniqueness, approach the ideas and work of Felix Candela.

Keywords: Félix Candela; Shells; Hyperbolic paraboloids. Concrete.

RESUMEN

La plasticidad del hormigón armado permitió la creación de grandes espacios que posibilitan la ejecución de superficies con diferentes formas. El arquitecto Félix Candela contribuyó significativamente al campo técnico del hormigón armado y su aplicación en cáscaras delgadas, aplicando las ecuaciones de membrana a formas geométricas reconocidas, los paraboloides hiperbólicos. Los objetivos de esta investigación son mantener en evidencia la labor de Félix Candela, e identificar su expresión en la arquitectura Paulista, buscando trabajos en dónde ocurrió la apropiación de conceptos aplicados en la búsqueda de la forma y/o de las técnicas de Candela. El método se estructura a partir de estudios de casos, con una selección de obras a partir de un relevamiento de publicaciones en la revista Acrópole (de 1950 a 1970), como el Centro de Serviço e Combustíveis de la Cooperativa Agrícola de Cotia, de 1958, y las estaciones de tren de la antigua Mogiana Paulista, de 1964. Como también de obras de gran relieve en la arquitectura, como la cubierta del mercado municipal de Pirituba, abierto en 1972, y las cubiertas de los terminales de ómnibus de metro Ana Rosa y Vila Mariana, inaugurados en 1974. Las etapas consisten en una revisión de la literatura, e investigación de campo, con visitas a obras en México y Sao Paulo. El estudio muestra la presencia de obras en la arquitectura paulista que, sin perder su singularidad, se acercan a las ideas y obra de Félix Candela.

Palabras clave: Félix Candela. Cáscaras. Paraboloides hiperbólicos. Hormigón.

FÉLIX CANDELA, PARABOLOIDES HIPERBÓLICOS E A ARQUITETURA PAULISTA: ESTUDO DE CASOS

INTRODUÇÃO

O presente trabalho está situado em uma interface entre a arquitetura e a engenharia. Seus limites são difusos, mas muitas vezes acabam definidos como dois campos do conhecimento separados. Este artigo pretende ser também uma contribuição à transcendência dessa relação que, vale lembrar, é uma simbiose que caracteriza fortemente a arquitetura moderna, em particular a brasileira.

No caso de Félix Candela, esse raciocínio é levado a instâncias extremas, ao buscar expressão arquitetônica (ele era arquiteto de formação) aplicando ao longo da carreira preferencialmente uma forma: paraboloides hiperbólicos. Seu legado está neste percurso.

Candela não foi o único nem o primeiro a utilizar paraboloides hiperbólicos, mas foi quem buscou levar essa ideia até seus limites, que acabou tendo uma grande difusão, assim como de seu autor.

Em determinada época, encontrou eco também no Brasil, e há registro de um sem números de projetos em paraboloides hiperbólicos espalhados pelo território nacional. A partir dos anos 1950, a repercussão foi significativa, a ponto de seus textos “Hacia una nueva filosofía de las estructuras” e “Estéreo Estructuras” terem sido publicados em 1957 pelo Grêmio da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo-USP.

Os jovens estudantes de hoje pouco conhecem da produção de Candela, assim como pouco sabem de arquitetura latino-americana, mas em aulas têm mostrado especial interesse pela sua obra. Eles se surpreendem ao constatar sua atual importância, referendada, por

exemplo, por Santiago Calatrava, que o admirava, e lhe encomendou o edifício do Oceanário na Ciudad de las Artes y las Ciencias, em Valencia. Ou por outra admiradora, recentemente falecida, a arquiteta Zaha Hadid, que na Bienal de Veneza de 2012 fez uma instalação com projetos que foram relevantes na sua investigação de projeto, mostrando obras de Félix Candela, Frei Otto, Heinz Isler e Philippe Block.

Uma das contribuições deste trabalho é manter em evidência, e trazer à luz àqueles que não conhecem, a obra de Félix Candela. O objetivo é identificar os rebatimentos dos conceitos do arquiteto e mostrar alguns exemplos no estado de São Paulo onde a utilização de paraboloides hiperbólicos é uma característica marcante.

Robert Yin (2010) discute que na área das ciências sociais aplicadas o método pode contemplar os estudos de casos múltiplos incorporado, identificando semelhanças ou contradições como estratégias de análise.

A estratégia de seleção das obras parte de um levantamento realizado na revista Acrópole, entre 1950 e 1970. Nesta foram selecionados o Centro de Serviço e Combustíveis da Cooperativa Agrícola de Cotia e a cobertura da estação de Trem da Mogiana Paulista, obras pouco discutidas na literatura brasileira. São analisadas também obras referenciadas à expressão de Candela, como as coberturas do Mercado Municipal de Pirituba inaugurado em 1972, e dos terminais de ônibus do metrô Ana Rosa e Vila Mariana. A justificativa do recorte temporal está associada à divulgação das primeiras obras de Félix Candela na década de 1950, e ao declínio da aplicação das cascas em concreto, na década de 1970.

As etapas do método compreendem: revisão da literatura, investigação em campo com visita às obras de Félix Candela no México e no estado de São Paulo.

As estratégias de análises avaliam “o contexto em que ocorre a intervenção” e os elementos relevantes, como a expressão e a linguagem, a forma geométrica, e os métodos construtivos (MOREIRA, RUSCHEL, 2015).

1. ANTECEDENTES

Por volta de 12000 a.C., originam-se as primeiras técnicas de construção, aplicadas na construção de abrigos, que foram determinantes para a preservação da humanidade. Como

destacou “Banister Fletcher em um amplo estudo realizado em 1896”. No início, os abrigos eram executados com materiais naturais como gelo, pedras, fibras e tramas, madeira e argilas, couro, entre outros, em técnicas utilizadas nas construções indígenas e nos abrigos dos povos nômades (WESTON, 2008, p 72).

As técnicas de transformação das argamassas foram encontradas ao longo do tempo por diferentes populações e locais, uma das obras mais relevantes as pirâmides egípcias datam de 2500 anos a.C. contudo, o domínio da técnica com as argamassas hidráulica, que adquirem resistência sob a água, é atribuído aos gregos por volta de 500 a.C., incorporando as pozolanas naturais, sílicas retiradas das erupções dos vulcões, à argamassa uma mistura de calcário e areia. Entretanto os romanos difundiram a técnica e realizaram grandes construções como aquedutos, coliseus, portos, pontes e edifícios variados. Eles descobriram que, as telhas queimadas e trituradas apresentavam na mistura as mesmas propriedades das pozolanas dos vulcões (MARTINGANÇA, 2014).

O desenvolvimento do concreto armado é recente, e é diretamente associado ao processo de transformação do aço doce, que ocorreu após a Segunda Revolução Industrial. Diversos pesquisadores consideram como marco inicial do concreto armado os experimentos realizados, em 1848, pelo engenheiro francês Lambot, entre os quais destaca-se o modelo de um barco em argamassa armada. Entretanto, foi Joseph Monier quem fez uma grande contribuição no desenvolvimento da técnica conhecida como “cimento armado” nas aplicações voltadas para construção civil, com o desenvolvimento de patentes para “vasos de cimento em 1867, tubos e tanques em 1868, construção de pontes e passarelas em 1873, vigas de concreto armado em 1878 (CARVALHO, 2008, P. 27).

Vasconcelos e Carrieri (2005) observam a aplicação da tecnologia do “cimento armado” na construção civil brasileira, que ganhou impulso em 1892, quando Carlos Poma adquire uma patente que permitia sua aplicação em edifícios. Suas primeiras obras no Rio de Janeiro datam de 1904, entre elas, um conjunto de edifícios habitacionais. Segundo Reis (1997), uma das primeiras obras executadas em São Paulo aplicando o cimento com função estrutural é o projeto da estação de trens de Mayrink, de autoria de Victor Debugras (REIS, 1997).

Após a década de 1930, o concreto armado passa a ser o material por excelência que acompanhará o desenvolvimento da arquitetura brasileira, internacionalmente

reconhecida, e este material é uma assinatura para muitos arquitetos, como Oscar Niemeyer, Oswaldo Bratke, Vilanova Artigas, Affonso Reidy, João Filgueiras Lima (Lelé), entre outros (VASCONCELOS; CARRIERI, 2005).

A plasticidade do concreto armado permitiu a criação de espaços amplos com diferentes usos e formas, como galpões industriais, hangares, igrejas, etc. O renomado engenheiro Eugène Freyssinet, é considerado um dos precursores na aplicação do concreto armado em cascas curvas cilíndricas, com a construção de uma série de hangares em uma região próxima a Paris, em 1916 (ANTUÑA, 2015).

Eduardo Torroja, arquiteto e engenheiro espanhol, fez grandes contribuições ao seu desenvolvimento, entre 1923 e 1961. Em 1934, cria o “*Instituto Técnico de la Construcción y la Edificación*”, para pesquisar as diferentes aplicações, suas problemáticas e o desenvolvimento de suas teorias. Como fruto destas atividades, publica diversos livros, voltados para o entendimento do material, e dos elementos estruturais (TORROJA, 1960, p.1).

Félix Candela formou-se em 1935, foi aluno de Torroja, na *Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid*, mas devido à Guerra Civil foi forçado a emigrar para o México. Candela passa a questionar os processos de cálculo do concreto armado ao considerar que não existia um completo conhecimento do comportamento do material. Experimenta diversas formas geométricas, entre as quais os paraboloides hiperbólicos, associando a geometria às equações de membrana, obtendo cascas delgadas e submetidas a menores tensões (CANDELA, 1961, p.24).

Como destacado anteriormente, Félix Candela é relevante para a academia até os dias atuais, em especial para os cursos de arquitetura onde a técnica e a arte, muitas vezes, são tratadas separadas. Candela integra a prática da experimentação sem deixar de valorizar as expressões plásticas e as questões construtivas. Este fato é destacado em outubro de 1957, no texto da abertura de uma série de seminários sobre estruturas do departamento de ensino da FAU-USP. Ao publicar parte do trabalho de Félix Candela, o texto aponta que a intenção era aproximar “professores e alunos dos problemas concretos na vida prática” (GRÊMIO DA FAU USP, 1957,p.1).

Augusto Carlos de Vasconcelos, engenheiro civil calculista e renomado professor, também destaca no livro “Estruturas Arquitetônicas: apreciação intuitiva das formas estruturais”, a influência direta das ideias de Candela na arquitetura brasileira. Vasconcelos inclusive projeta e executa com paraboloides hiperbólicos, em 1958, o SENAI de Sorocaba (VASCONCELOS, 1991, p.103).

2. Estudos de caso: A obra de Félix Candela em parabolóide hiperbólico no México

Alanis (2008) destaca que Candela não desenvolveu as teorias estruturais das cascas curvas, mas demonstrou por meio da experimentação a sua viabilidade construtiva.

Segundo Medrano e Meirelles (2005, p.5),

[...] o comportamento estrutural das cascas curvas atende a duas teorias, a teoria da membrana e a teoria da flexão. Na primeira é considerado o mecanismo resistente de membrana, que resultam em solicitações por força normal e cisalhamento (análogas às da chapa). Na segunda são consideradas as flexões, que resulta na casca curva em solicitações por momentos fletores, momentos de torção, esforços normais (forças de membrana), cortante e cisalhamento longitudinal. No projeto das cascas deve-se ter uma especial atenção nas regiões dos apoios, pois nestas regiões podem ocorrer solicitações de flexão significativas.

Apesar da aparente complexidade das formas em parabolóide hiperbólico, ela possibilita aos arquitetos e engenheiros projetarem coberturas de grande beleza estética ou “arte estrutural” (PRINCETON, 2008, p.1). Como exemplo, uma cobertura em parabolóide hiperbólico pode ser projetada a partir das formas básicas, como a sela de cavalo com bordas curvas (uma hyperboloid) ou de bordas retas. Devido à sua dupla curvatura permite diversos arranjos e composições, geradas a partir destas formas básicas, simplesmente modificando a curvatura ou o número de apoios, como demonstram as figuras 1 e 2, obras executadas por Felix Candela.

Por volta de 1949, dez anos após a sua chegada ao México, Candela funda uma empresa de construção civil, e começa a experimentar diversas formas em cascas cilíndricas, conoides, e paraboloides hiperbólicos. Este fato em pouco tempo levou ao seu reconhecimento no meio técnico e na sociedade local.

Los Manantiales é um dos edifícios mais conhecidos de Félix Candela, construído em 1958 em colaboração com os arquitetos Fernando e Joaquin Alvarez Ordóñez. Trata-se de um restaurante localizado na região turística de Xochimilco, na Cidade do México. Uma “paisagem inundada por canais, e coberta por flores coloridas típicas da região” (ALANIS, 2008, p.63). Brown (2012) observa que a forma do edifício remete à lembrança das flores boiando na superfície do curso d'água como mostra a figura 1.

No restaurante, Candela aplica a composição de quatro elementos em paraboloides hiperbólicos de borda curva rotacionados, resultando na criação de um espaço interno livre adequado às características do projeto, em que cada elemento cria grandes aberturas para o exterior. A figura 1 apresenta a imagem externa da casca e uma panorâmica interna, com sua beleza estética e ousadia estrutural. A aplicação das equações de membrana permite que a espessura das cascas chegue a 6 cm nas partes mais finas (BURGER; BILLINGTON, 2007).



Figura 1: Paraboloides Restaurante Los Manantiales (México). Fonte: AUTORES.

O projeto da cobertura da fábrica de Rum Bacardi, em Cuautitlán, no estado do México, projeto de Félix Candela, construído em 1960, em colaboração com os arquitetos Saenz, Cancio, Alvarez, Martín e Gutiérrez, apresenta a maturidade e o domínio técnico adquirido por Candela ao longo de sua carreira, aplicando diferentes formas de composição dos paraboloides hiperbólicos (CUETO RUIZ-FUNES, 2009) como mostra a figura 2 .

Os edifícios da área central da fábrica são ousados projetos de casca em concreto armado, sua superfície é composta por seis coberturas curvas, como mostra a figura 2 (parte

superior), com vãos entre apoios de 28.5 por 31.0 metros. Cada parte da cobertura surge do cruzamento de dois elementos em parabolóide hiperbólico de borda curva. Candela aplica nervuras estruturais junto às intersecções, invertendo-as junto às aberturas, para permitir os rasgos na casca e a utilização de fechamentos em panos de vidros. O arquiteto trabalhou com cascas de 4 cm de espessura, e para manter a expressão de leveza ele inseriu nervuras auxiliares junto à face externa figuras 2 (parte superior). A intersecção das cascas gera os pilares curvos tangentes, vistos na figura 2 (parte superior) (CUETO



Figura 2: Fábrica de Rum Bacardi - Parte superior: cobertura da parte central da fábrica. Parte inferior: cobertura das partes laterais. Fonte: AUTORES

Os edifícios localizados nas duas laterais da fabrica apresentam elementos de borda reta, chamados de pilares guarda-chuva, como mostra a figura 2 (parte inferior).

Como destaca Cueto Ruiz-Funes (2009,) os pilares guarda-chuva são compostos por quatro segmentos de parabolóides hiperbólicos amparados por um apoio central, cada folha com uma pequena curvatura. A sua eficácia construtiva estava em aplicar a mesma fôrma várias vezes, tornando-o um produto muito econômico. A figura 2 (parte inferior) apresenta uma

RUI
Z-
FU-
NES
,
200
9).

configuração que permite a entrada da luz, com uma pequena rotação da casca e diferentes alturas.

Peederman (2008) discute que Candela buscava o desempenho do processo construtivo, com soluções econômicas e adaptadas às condições locais, terrenos de baixa capacidade de carga, sem deixar de lado a beleza da forma. A composição guarda-chuva pode ter na fundação a mesma forma da cobertura, lembrando um prisma. Essa técnica construtiva é aplicada por Candela em diversos projetos, como nas coberturas do Mercado de Coyoacán na cidade do México, e parte da cobertura da fábrica de Rum Bacardi. Ele buscava elementos que permitissem a sua adaptação as condições locais, e flexibilidade considerando a facilidade de repetição. A composição em pilar guarda-chuva, com um unico pilar central, permite grandes balanços, que possibilitam a sua adaptação aos diversos usos, como nos terminais de transportes, em fabricas e supermercados, postos de serviço, etc.

Nos anos 1970, o encarecimento da mão de obra e dos materiais, em especial da madeira, resultaram na falta de viabilidade econômica das cascas em concreto armado e dos paraboloides hiperbólicos. Eládio Dieste já ressaltava essa especificidade como uma das exigências para a utilização deste tipo de estruturas. Na visão de Eládio Dieste,

[...] a obra de Candela é um caso de fidelidade à exploração de uma ideia muito racional e muito lógica dentro do meio ambiente mexicano. O México é um país de mão de obra muito barata, portanto ele usa uma série de formas que, em concreto armado, são as mais lógicas: a do parabolóide hiperbólico como estrutura de concreto. (BAYON; GASPARINI, 1977, p. 196, trad. nossa).

2. ESTUDOS DE CASO: ANÁLISE DE CINCO OBRAS NO ESTADO DE SÃO PAULO

As duas primeiras obras analisadas a seguir fazem parte do levantamento realizado na revista Acrópole, entre 1950 e 1970 o Centro de Serviço e Combustíveis da Cooperativa Agrícola de Cotia.

2.1 CENTRO DE SERVIÇO E COMBUSTÍVEIS DA COOPERATIVA AGRÍCOLA DE COTIA

A Cooperativa Agrícola de Cotia foi fundada por imigrantes japoneses em 1928, e foi uma das maiores do Brasil em termos de números de cooperados e de distribuição de alimentos e hortaliças. Em 1958, a cooperativa construiu junto ao entreposto da Marginal Pinheiros, esquina das avenidas Almeida Torres com a Avenida Jaguaré, o Centro de Serviço e Combustíveis para atender aos cooperados. O projeto é de autoria da arquiteta Natue Nomura (ACRÓPOLE, 1958, n. 234), aluna da primeira turma da FAU-USP em 1948 junto com mais três alunas, “Thereza Katinszky, Clementina Ambrosis e Frejda Blinder”. As formações das primeiras turmas da FAU-USP recebiam a influência da escola politécnica, mas ao mesmo tempo se aproximava da escola de belas artes (KATINSKY, 2015, p 184).

O projeto do Centro de Serviço e Combustíveis é setorizado: em “abastecimento de combustíveis, plataforma de distribuição a granel, depósito e escritório”, e o outro setor para manutenção dos veículos, com “box para lavagem, lubrificação”, etc.. Na figura 3, observamos a foto da implantação na época da construção com as coberturas do setor de abastecimento implantadas em “U”. (ACRÓPOLE, 1958, p.209).

A figura 3 mostra a composição da cobertura original. Cada elemento da cobertura é composto de quatro paraboloides hiperbólicos de bordas retas, descarregando em um pilar central que cobre um espaço de dez por dez metros e cinco em balanço. A área principal do setor de abastecimento era composta de dez elementos em forma de guarda-chuva e o setor de manutenção e serviços de três elementos.



Fotos : José Moscardi

CENTRO DE SERVIÇO E COMBUSTÍVEIS

projeto e construção	Seção de Engenharia da C.A.C. Natue Nomura - arquiteta
proprietário	Cooperativa Agrícola de Cotia

O centro foi projetado para servir os veículos da Cooperativa e dos seus associados, e ainda para a redistribuição de combustíveis aos inúmeros depósitos da sociedade localizados no interior.

Dado o grande número de veículos a atender, o conjunto, ocupando uma área relativamente grande, foi estudado em 2 blocos: No primeiro bloco situam-se: pátio de abastecimento direto de combustíveis, plataforma de distribuição de combustíveis a granel, depósitos e escritório.

No segundo bloco foram agrupados todos os serviços de tratamento dos veículos: boxes de lavagem, lubrificação e vulcanização.

Para a cobertura, num total de 1.400 m², foram usadas lajes de forma parabolóide hiperbólica. As razões pelas quais foram usadas são as seguintes:

1 — Tratando-se de um local praticamente desprotegido contra ventanias, com as coberturas do tipo



Figura 3: p. 209 da Revista Acrópole 1958, n. 234 - Coberturas do Centro de Serviço e Combustíveis da Cooperativa Agrícola de Cotia. Fonte: ACRÓPOLE, 1958.

Atualmente a cooperativa está desativada e a área passa por um processo de abandono. Em 2015 ainda existia no local um estacionamento, um restaurante, e galpões de depósitos. Quatro coberturas que agrupavam o setor de abastecimento foram demolidas, restando apenas as que cobriam as áreas do escritório e controle e as três do setor de serviços (figura 4). Devido à beleza do projeto na época foi construído também um portal de entrada em casca curva. Em 2015 as cascas ainda preservam a integridade estrutural, apesar de demonstrar a falta de manutenção.



Figura 4: Antigo Centro de Serviço e Combustíveis da Cooperativa Agrícola - na parte superior Portal em Cascas cilíndricas - parte inferior a esquerda: Setor de Serviços a direita Áreas do escritório e controle - São Paulo. Fonte: AUTORES

Como destaca a publicação da Revista Acrópole (1958, n. 234, p. 210) a arquiteta defendeu o uso dos paraboloides hiperbólicos devido a três fatores: o primeiro é a flexibilidade do projeto, exigência do tipo de serviços prestado no local, devido aos grandes balanços e a “redução do número mínimo de pilares”; o segundo é que estrutura e vedação são um único elemento, evitando o uso de telhas, devido aos fortes ventos da região; o terceiro ponto foi o baixo custo da construção sem deixar de lado a estética.

A obra revela que a forma geométrica e o processo construtivo se alinham às formas e técnicas aplicadas por Félix Candela no México, quando aplica os pilares guarda-chuva em terminais de transporte, mercados, pontos de ônibus, etc.

2.2 ESTAÇÃO DA MOGIANA PAULISTA

Em 1964 a Companhia Mogiana Paulista convidou o arquiteto Oswaldo Bratke para estudar e projetar as suas estações, para atender o processo de expansão da estrada de Ferro. As primeiras estações foram construídas nas cidades de Ribeirão Preto, interior do estado de São Paulo, e em Uberlândia estado de Minas Gerais (ACROPOLE, 1966, n.330).

Oswaldo Bratke explica a concepção do projeto e discute a aplicação dos elementos em parabolóide hiperbólico de bordas retas, apontando a flexibilidade que consegue no projeto devido à aplicação destes elementos, permitindo a construção por etapas. No projeto de Ribeirão Preto cada pilar tem uma projeção em planta de 10,50 metros, com uma pequena separação entre cada casca, como pode ser observado na figura 6. Outro ponto que ele destaca é o baixo custo para a construção devido às pequenas espessuras das cascas (ACROPOLE, 1966, n.330).

O arquiteto já afirmava que o projeto das estações de trens, para a sobrevivência, tinha que inovar em termos de projeto de arquitetura, e deveriam incorporar:

[...] plataformas de embarque, bilheterias, escritórios e serviços, depósito de bagagens e as utilidades necessárias para vendas de jornais, revistas, cigarros, doces, restaurantes, bares, café, agências de transportes rodoviários, terminal de ônibus urbano com seu local de espera e no futuro comércio variado um pequeno hotel, cinema, o que for jugado de interesse (ACRÓPOLE, 1966, n.330, p.32).

Oswaldo Bratke formou-se pela Universidade Presbiteriana Mackenzie em 1931, como arquiteto-engenheiro. No projeto das estações da Mogiana ele demonstra o domínio técnico adquirido em sua formação, alinhado às preocupações de Félix Candela, buscando associar a beleza, a eficiência estrutural, a flexibilidade de projeto à economia. Na figura 6 há fotos da estação em 2015.



Figura 5: Estação da Mogiana Paulista em Ribeirão Preto, em 2015. Fonte: AUTORES.

A estação de Ribeirão Preto recebeu passageiros até 1996. A partir desta data passou a servir como apoio ao transporte de cargas, com o controle de passagens dos trens. A estrutura em parabolóide hiperbólico de bordas retas é muito esbelta, mas muito resistente, pois suporta a passagem constante de grandes carregamentos e vibrações na passagem dos trens.

2.3 O MERCADO MUNICIPAL DE PIRITUBA

O mercado municipal de Pirituba, com projeto de arquitetura de Abelardo de Souza, possui para a época uma concepção estrutural arrojada. Sua construção inicia-se em 1968, sendo inaugurado em 1972. Abelardo formou-se em 1932, na Escola Nacional de Belas Artes, no Rio de Janeiro, e na década de 1940 se muda para São Paulo onde começou a atuar como professor em conjunto com Vilanova Artigas, na FAU-USP. Constantino (2004, p.93) considera que o projeto foi concebido com o conceito do “moderno democrático”, incorporando às correntes presentes na Escola Paulista, um espaço “fluido” com a estrutura exposta em concreto aparente. (ITAU CULTURAL, 2016)

A planta da cobertura do mercado municipal de Pirituba, tem 70 metros de diâmetro, com balanços de 35 metros, como mostra a figura 6. A estrutura da cobertura do mercado municipal de Pirituba é formada por doze pequenas cascas de concreto armado, atirantadas em um mastro de 25 metros.



Figura 6: Mercado Municipal de Pirituba. Visão geral das coberturas e croqui da estrutura Fonte: AUTORES

Constantino (2004) destaca que a expressão da obra pressupõe a influência de Félix Candela, entretanto com processos construtivos diferenciados. Candela na obra do restaurante Los Manantiales, parte da composição de quatro paraboloides hiperbólicos de borda curva, rotacionados em torno de um eixo gera oito elementos curvos apoiados no solo. Na concepção associa a teoria de membrana à forma, minimizando tensões e solicitações, e executa uma superfície contínua em concreto armado, com técnicas simples e adequadas ao local.

No mercado municipal de Pirituba, a expressão da casca remete à obra de Félix Candela, mas a técnica construtiva usada é bastante distinta, associada às tecnologias existentes no Brasil, impondo as cascas altas tensões, exigindo diferentes estratégias estruturais. Uma

solução alinhada ao domínio do pensamento estrutural, vigente na época da sua construção em São Paulo, aplicada a estruturas de pontes, com projeto estrutural do engenheiro Figueiredo Ferraz (MEDRANO; MEIRELLES, 2013).

Cada casca de forma “tronco cônica” é atirantada por seis cabos. Para evitar a alta concentração de tensões nas cascas finas, foi inserido sobre elas nervuras de transição intertravadas por anéis, como pode ser observado no croqui, desenhado a partir da observação de imagens de satélite, como destacado no croqui da figura 6. O projeto foi premiado no Japão e México, devido à concepção estrutural arrojada (PREFEITURA DE SÃO PAULO, 2015, p.1).

2.4 TERMINAIS DE ÔNIBUS URBANOS

As plataformas de acesso dos terminais de ônibus urbanos junto à linha 1 (Azul) do metrô Ana Rosa e Vila Mariana, inaugurados em 1974, são coberturas projetadas a partir do parabolóide hiperbólico de bordas retas. Os terminais foram projetados por diferentes arquitetos liderados por Marcello Fragelli, em conjunto com as companhias alemãs HMD Hochtief, Montreal e Deconsult (CMSP).

Fragelli (2010, p. 242) afirmava que a escolha do concreto aparente, nas estações do metrô da linha 1 buscava atribuir aos edifícios uma “expressão da arquitetura” e a linguagem dos elementos constitutivos. Porém, observou que a sua escolha não era motivada por questões estéticas.

Cada elemento da cobertura destes terminais de ônibus urbano surge da composição de quatro parabolóides hiperbólicos de bordas retas, com um apoio central, chamado de pilar guarda-chuva. “O parabolóide hiperbólico é uma superfície regrada, portanto a superfície curva é formada por elementos retos reversos”. Sua curvatura tão pequena remete a uma folha reta (VASCONCELOS, 1991, p.97).

Nestas obras as expressões do concreto armado, e do processo executivo da construção ficam impressos nas marcas deixadas nas fôrmas de madeira, como mostra a figura 7. Manifestam o mesmo processo construtivo e a mesma expressão geométrica de Candela em diversos projetos, como as cascas Coyocán Market, no subúrbio da cidade do México.



Figura 7: Estação de ônibus urbano do metrô Ana Rosa. Fonte: AUTORES

No terminal de ônibus urbano Ana Rosa atuou, em conjunto com a equipe coordenada por Fragelli (2010) o arquiteto Silvio Heibult, e no projeto do terminal de ônibus urbano da Vila Mariana a coordenação foi de Vasco de Mello em parceria com Luiz Gonzaga de Oliveira Camargo. Os dois terminais contam com projeto de área administrativa, banheiros, depósito, entre outros, e o embarque de ônibus. As coberturas do embarque de ônibus é composta de pilares guarda-chuva. No terminal Ana Rosa o embarque é protegido por dez elementos (figura 7), e no da Vila Mariana são duas linhas de elementos com seis pilares cada.

3. CONCLUSÕES

O conjunto da obra de Félix Candela construído no México demonstra o potencial da técnica construtiva em parabolóide hiperbólico. Candela experimenta o potencial das mais diversas formas associadas ao seu projeto, buscando a minimização das tensões ao aplicar

a teoria da membrana, sem deixar de considerar a elegância da estrutura em seus projetos. Ele experimenta desde os pilares de guarda-chuva nas coberturas de terminais de transporte e em coberturas de fábricas, como os paraboloides hiperbólicos de bordas curvas. Assim, gera obras únicas como o restaurante Los Manantiales e a parte central da fábrica de Run Bacardi.

No Brasil a divulgação das técnicas aplicadas por Félix Candela encontra eco em inúmeros projetos na arquitetura paulista, como é o caso das obras apresentadas. No mercado municipal de Pirituba, a expressão plástica da obra remete a expressão impressa por Candela no restaurante Los Manantiales, mas no mercado as cascas não apresentam a dupla curvatura e não derivam de paraboloides hiperbólicos. Outro aspecto a destacar é que neste projeto a técnica construtiva é diversa das cascas de Candela apoiadas no solo, e se alinha ao domínio técnico alcançado na época em São Paulo associado às técnicas construtivas das pontes, atirantando as cascas ao pilar central.

Grande parte das obras aplicam os quatros paraboloides hiperbólicos de pequena curvatura, apoiadas em um único ponto de apoio, chamados de pilar guarda-chuva, como os casos apresentados da estação Mogiana Paulista em Ribeirão Preto e nas Coberturas do Centro de Serviço e Combustíveis da Cooperativa Agrícola de Cotia em São Paulo, e nas coberturas do terminais de onibus do Metro Ana Rosa e Vila Mariana. Estas evidenciam uma estreita relação com a expressão de Candela no uso do paraboloides hiperbólico e a estrutura se alinha ao processo construtivo.

Procuramos mostrar que as ideias e trabalhos de Félix Candela encontram afinidade com um pensamento vigente na época em São Paulo, bem como com condicionantes econômicos e técnicos, como mostramos nos casos aqui apresentados. Estes, sem perder sua singularidade, permitem uma aproximação à obra de quem levou às mais sofisticadas instâncias uma ideia estrutural aplicando a forma do paraboloides hiperbólico.

REFERÊNCIAS

- ACROPOLE. Centro de Serviço e Combustíveis. *Revista Acrópole*, São Paulo, n. 234, ano 20, 1958. Disponível em <http://www.acropole.fau.usp.br/edicao/234> acesso em 10. Abril de 2016.
- ACROPOLE. Estações Ferroviárias Centro. *Revista Acrópole*, São Paulo, n. 330, ano 28, 1966. Disponível em <http://www.acropole.fau.usp.br/edicao/330> acesso em 10. Abril de 2016.
- ANTUÑA, Joaquín. 2015. *The Evolution of the Work of Eduardo Torroja: Shell Roofs with and without Reinforcement*. Universidade de Cambridge, Departamento de Arquitetura. Disponível em <http://www.arct.cam.ac.uk/Downloads/ichs/vol-1-179-194-antuna.pdf> acesso em 10 jul. 2015.
- BAYÓN, Damián; GASPARINI, Paolo. *Panorámica de la arquitectura latino-americana*. Barcelona: Unesco/Ed. Blume, 1977. p. 196.
- BROWN, Nathan A. *Geometric and Structural Feasibility Study of Hypar Shells*. Senior Theses of Science in Engineering, Department of Civil and Environmental Engineering, Princeton University, 2012. 208 p.
- BURGER, N; BILLINGTON, D.P. Félix Candela, Elegance and Endurance: An Examination of the Xochimilco Shell. *Journal of the International Association for Shell and Spatial Structures -IASS*. New York, December, 47 (n. 152) p.1-8, 2006.
- CANDELA, Félix. *Hacia una nueva filosofia de las estructuras*. México: INBA, 1961, 58 p.
- CARVALHO, João D. N. Sobre as Origens e desenvolvimento do Concreto. *Revista Tecnológica*, 2008. 17: p.19-28.
- CMSP. 2013. *Arquitetura da linha 1 - Azul*. Disponível em <http://www.metro.sp.gov.br/tecnologia/arquitetura/linha-1-azul.aspx> acesso em 10. mai. 2015.
- CONSTANTINO, Regina Adorno. 2004. *A Obra de Abelardo de Souza*. Dissertação de mestrado em Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 264 p.
- CUETO RUIZ - FUNES, Juan Ignacio del. Cien años de Félix Candela: Vuelos Impensados. *Revista de la Universidad do México*, 2009. n. 69 (nov): p.1-5.
- FRAGELLI, Marcello. 2010. *Quarenta anos de prancheta*. São Paulo: Romano Guerra, 448 p.
- GRÊMIO DA FAU USP. *Seminário de Estruturas*. São Paulo, FAU-USP, 1957.
- ITAU CULTURAL. *Escola Paulista*. Disponível em <http://enciclopedia.itaucultural.org.br/termo8817/escola-paulista> acesso em 12.junh.2016.
- KATINSKY. Júlio Roberto. Thereza Katinszky De Katina e Pieliesz (1927-2015). *Revista Pós*. São Paulo, junho 2015. v.22 n.37.
- MARTINGANÇA, José António Sequeira Alvarez Secil. Alvenarias e Argamassas anteriores ao Império Romano. *I Simpósio de Argamassas e Soluções Térmicas de Revestimento*, Coimbra, Portugal, 2014. Disponível em http://www.apfac.pt/congresso2007/comunicacoes/Paper%2051_07.pdf acesso em 8. Mar. 2016.

MEDRANO, R. H.; MEIRELLES, C. R. M. Estruturas Espaciais em Cascas: Estudo de Casos Latino-Americano. In: **XXI Conferencia Latinoamericana de Escuelas y Facultades de Arquitectura - CLEFA XXI**, 2005.

_____. Processo Construtivo e Expressão das Cascas em Concreto Armado no Brutalismo. In: **X Docomomo Brasil**, 2013, Curitiba. **DOCOMOMO BRASIL: Arquitetura Moderna**. DOCOMOMO BRASIL: Arquitetura Moderna e Internacional: Conexões Brutalista. Curitiba, 2013. P. 1-11.

MOREIRA, Daniel de Carvalho; RUSCHEL, Regina C. O procedimento de análise em projeto: do programa arquitetônico à avaliação de edifícios. **PARC. Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas, v. 6, n. 1, p. 69-71, abr./jun. 2015. Disponível em: <<http://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/parc/article/view/8641793>>. Acesso em 19 out.2016.

PEEDERMAN, J. Analysis of thin concrete shells Revisited: Opportunities due to Innovations in **Materials and Analysis methods**. Thesis in Structural and Buildings Engineering, Delft University of Technology, Delft, 2008.435 p.

PREFEITURA DE SÃO PAULO. Mercado de Pirituba. São Paulo: PMSP, 2015. Disponível em http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/trabalho/abastecimento/mercados_municipais_e_sacoloes/unidades/mercados/index.php?p=115605. 10 mai. 2015.

PRINCETON UNIVERSITY ART MUSEUM. Félix Candela, engineer, builder, structural artist. Princeton: PU, 2008. Disponível em <http://mcis2.princeton.edu/candela/cuernavaca.html> acesso em 13.junh.2015.

REIS, Nestor Goulart. 1997. **Racionalismo e proto-modernismo na obra de Victor Dubugras**. São Paulo: Fundação Bienal/ABCP, 1997. 216 p.

TORROJA, E. **Razón y ser de los tipos estructurales**. Madri: Instituto Técnico de la Construcción y del Cemento, 1960. 320p.

VASCONCELOS, A. C. **Estruturas arquitetônicas: apreciação intuitiva das formas estruturais**. São Paulo: Nobel, 1991.115 p.

VASCONCELOS, A. C; CARRIERI JUNIOR, R. 2005. **A escola Brasileira do Concreto Armado**. São Paulo, MVNDI, 2005.207 p.

WESTON, Richard. **Materiales, foma Y arquitetura**. Barcelona: BLume: 2008.

YIN, Robert K. **Estudo de Caso, planejamento e métodos**. 4.ed. São Paulo: Bookman, 2010.