



Monica Cavalcante de Aguiar

FORMA-ESTRUTURA:

**Matriz de expressão tectônica
no MAM-Rio, na FAU-USP
e na Catedral de Brasília.**

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Arquitetura da PUC-Rio como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Arquitetura.

Orientador: Prof. Marcos Favero

Rio de Janeiro
Maio de 2018



Monica Cavalcante de Aguiar

FORMA-ESTRUTURA:

**Matriz de expressão tectônica
no MAM-Rio, na FAU-USP
e na Catedral de Brasília.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Arquitetura da PUC-Rio como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Arquitetura pelo Programa de Pós-graduação em Arquitetura da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

Prof. Marcos Favero

Orientador

Departamento de Arquitetura e Urbanismo – PUC-Rio

Prof. João Masao Kamita

Departamento de História – PUC-Rio

Profª. Lídia Shehata

Departamento de Engenharia Civil – COPPE-UFRJ

Profª. Ana Paula Polizzo

Departamento de Arquitetura e Urbanismo – PUC-Rio

Profª. Monah Winograd

Coordenadora Setorial do Centro de Teologia
e Ciências Humanas – PUC-Rio

Rio de Janeiro, 28 de maio de 2018

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, da autora e do orientador.

Monica Cavalcante de Aguiar

Graduou-se em Engenharia Civil na UFF (Universidade Federal Fluminense) em 1981. Especializou-se em Tecnologias no Ensino Superior no CCEAD da PUC-Rio (Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro). É professora de estruturas no Curso de Arquitetura e Urbanismo da PUC-Rio desde 2012, e sócia do escritório Justino Vieira Monica Aguiar Projetos Estruturais desde 1983.

Ficha Catalográfica

Aguiar, Monica Cavalcante de

Forma-estrutura : matriz de expressão tectônica no MAM-Rio, na FAU-USP e na Catedral de Brasília / Monica Cavalcante de Aguiar ; orientador: Marcos Favero. – 2018.

154 f. : il. color. ; 30 cm

Dissertação (mestrado)–Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Arquitetura e Urbanismo, 2018.

Inclui bibliografia

1. Arquitetura – Teses. 2. Arquitetura e Urbanismo – Teses. 3. Forma-estrutura. 4. Expressão tectônica. 5. Arquitetura. 6. Engenharia estrutural. 7. Transdisciplinaridade. I. Favero, Marcos. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Arquitetura e Urbanismo. III. Título.

CDD: 720

Para Justino e Bartholomeu,
o tempo todo em mim.

Agradecimentos

À PUC-Rio, pela oportunidade de fazer essa pesquisa.

Ao meu orientador, Professor Marcos Favero, por todas as provocações, críticas, horas e horas de debate e correções de rumo que alimentaram esse trabalho.

À Professora Elisa Sotelino, por sua compreensão e estímulo quando o caminho se bifurcou.

Aos professores que participaram da Banca Examinadora.

A todos os professores do programa pela diversidade de olhares e saberes.

Aos funcionários do departamento, sempre prontos a ajudar.

Aos engenheiros Augusto Carlos de Vasconcelos, Bruno Contarini, Jorge Degow e Roberto Jermann, pelas entrevistas que serviram de semente e, possivelmente, frutificarão em trabalhos futuros.

Ao querido professor Antônio Carlos dos Reis Laranjeiras, que não só contribuiu com a pesquisa como também, de certa forma, foi responsável por minha incursão ao mundo acadêmico quando me perguntou um dia: “E por que você não dá aulas”?

Ao professor Eduardo C. S. Thomaz, por gentilmente ter cedido suas notas de aula.

Ao Eng. Nelson Covas, pelo apoio e portas abertas.

Ao meu amigo Pedro Figueiredo, pelo “olhar de fora”.

A todos os amigos e familiares, pela paciência com que me escutaram durante esse período.

Aos meus alunos e alunas, fonte de permanente inspiração.

Aos meus pais que, nessa altura da vida, incentivaram-me como se fosse ontem.

Resumo

Aguiar, Monica Cavalcante de; Favero, Marcos. **Forma-Estrutura: matriz de expressão tectônica no MAM-Rio, na FAU-USP e na Catedral de Brasília.** Rio de Janeiro, 2018. 154p. Dissertação de Mestrado – Departamento de Arquitetura e Urbanismo, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Forma-estrutura, como matriz de expressão tectônica, é um conceito formulado nessa pesquisa por uma ótica transdisciplinar. Efetuou-se uma investigação por meio da associação entre saberes pertinentes aos campos da Arquitetura e da Engenharia Estrutural, com o objetivo de propor uma abordagem de análise de projetos que possa trazer à luz o princípio que faz com que, em certas edificações, a estrutura espacial arquitetônica e a estrutura portante configurem uma única essência. A primeira parte da pesquisa consiste da abordagem teórica do conceito forma-estrutura, contextualizado historicamente pelo desenvolvimento da Arquitetura e da Engenharia Estrutural ocorrido a partir da separação dos campos de atuação das disciplinas no século XVIII. O Museu de Arte Moderna do Rio de Janeiro (MAM-Rio), a Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo (FAU-USP) e a Catedral de Brasília integram a segunda parte da pesquisa, na qual foram analisados a partir de categorias de caráter transdisciplinar, coerentes com a abordagem aqui proposta. Ao longo do trabalho constatou-se que a fundamentação conceitual proposta na primeira parte foi consistente como base teórica para as análises desenvolvidas na segunda parte. Análises nas quais o conceito de forma-estrutura, implementado como princípio projetual, se mostrou não apenas evidente como também a fonte, ou melhor, a matriz de expressão tectônica daqueles projetos. A pesquisa, além de comprovar expectativas, ampliou o campo de investigações relacionadas ao debate sobre Arquitetura Moderna, e, possivelmente, sobre a Arquitetura Contemporânea.

Palavras-chave

Forma-estrutura; Expressão tectônica; Arquitetura; Engenharia estrutural; Transdisciplinaridade.

Abstract

Aguiar, Monica Cavalcante de; Favero, Marcos (Advisor). **STRUCTURE-FORM: Tectonic expression matrix of MAM-Rio, FAU-USP and Cathedral de Brasília.** Rio de Janeiro, 2018. 154p. Dissertação de Mestrado – Departamento de Arquitetura e Urbanismo, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Structure-form, as matrix of tectonic expression, is a concept formulated in this research from a transdisciplinary perspective. By means of association between architectural and structural engineering knowledges, the study was undertaken with the purpose of formulating analytical propositions that could reveal the design precepts that, in certain buildings, highlight the structure in their architecture. The first part of the research consists of a theoretical approach to the structure-form concept, contextualized by Architecture and Structural Engineering historical development, as of the rupture between their application fields from the eighteenth century onwards. The Museum of Modern Art of Rio de Janeiro (MAM-Rio), the Faculty of Architecture and Urbanism of the University of São Paulo (FAU-USP) and the Brasília Cathedral, were analysed according to the transdisciplinary categories proposed, in coherence to the approach of this research. Throughout the work it was possible to confirm that the conceptual investigation, proposed in the first part of the research, turned out to be consistent as a theoretical basis to the analysis developed in the second part, in which the structure-form concept, deployed as a tenet in the design process, showed up not only evident but as their tectonic expression matrix as well. In addition to confirming expectations, the research broadened the field of investigation concerning Modern Architecture, and, possibly, Contemporary Architecture as well.

Keywords

Structure-form; Tectonic expression.; Architecture; Structural engineering; Transdisciplinarity.

Sumário

1. Introdução	13
2. Forma-estrutura	19
2.1 Forma-estrutura: uma abstração	19
2.2 Forma-estrutura no contexto da Revolução Industrial	28
2.3 Forma-estrutura e a forma moderna	36
2.4 Forma-estrutura: Lucio Costa e Emílio Baumgart	44
2.5 Forma-estrutura: categorias de análise	49
3. Há que se ir às coisas	57
3.1 Museu de Arte Moderna do Rio de Janeiro (MAM-Rio)	58
3.2 Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo (FAU-USP)	88
3.3 Catedral de Brasília	119
4. Considerações finais	146
5. Referências bibliográficas	150

Lista de figuras

Figura 1 - Igreja Sainte Geneviève em Paris.....	24
Figura 2 - Esqueleto de Hipopótamo.....	25
Figura 3 - Planta de montagem da Torre Eiffel.....	26
Figura 4 - Estação ferroviária de Saint Pancras.....	29
Figura 5 - Sistema Hennebique.....	32
Figura 6 - Musée de Travaux Publiques.....	33
Figura 7 - Palácio das Máquinas.....	34
Figura 8 - Musée de Travaux Publiques.....	35
Figura 9 - Sistema Dom-ino.....	37
Figura 10 - Unidade de Habitação de Marselha.....	40
Figura 11 - Unidade de Habitação de Marselha.....	41
Figura 12 - Hangar em Orvieto.....	42
Figura 13 - Hipódromo de Zarzuela.....	42
Figura 14 - Catedral de Brasília.....	53
Figura 15 - MAM-Rio.....	54
Figura 16 - FAU-USP.....	55
Figura 17 - MAM-Rio: croquis da fachada.....	60
Figura 18- MAM-Rio: croquis do corte transversal	60
Figura 19- MAM-Rio: corte transversal do bloco de exposições.....	62
Figura 20 - MAM-Rio: esquema estrutural pórtico bi-engastado.....	65
Figura 21 - MAM-Rio: esquema estrutural pórtico bi-articulado.....	65
Figura 22 - MAM-Rio: descrição das características da estrutura.....	67
Figura 23 - MAM-Rio: foto da construção.....	69
Figura24 - MAM-Rio: posicionamento das juntas de dilatação.....	71
Figura 25 - MAM-Rio: foto da construção.....	73
Figura 26 - MAM-Rio: foto da construção.....	73
Figura 27 - MAM-Rio: espaço contínuo no pavimento térreo.....	74
Figura 28- MAM-Rio: detalhe do posicionamento de placa de chumbo.....	75
Figura 29 - MAM-Rio: desenho esquemático de fôrmas do piso do térreo.....	76
Figura 30 - MAM-Rio: detalhe ampliado das fôrmas do piso do térreo.....	77
Figura 31 - MAM-Rio: corte transversal do bloco de exposições.....	78

Figura 32 - MAM-Rio: detalhe de armação em corte transversal.....	82
Figura 33 - MAM-Rio: capa da revista Estrutura de 1958.....	83
Figura 34 - MAM-Rio: marcação das juntas de concretagem.....	86
Figura 35 - FAU-USP: fachada.....	90
Figura 36 - FAU-USP: pátio central.....	91
Figura 37 - FAU-USP: croquis de Artigas.....	93
Figura 38 - FAU-USP: croquis de Artigas.....	94
Figura 39 - FAU-USP: croquis de Artigas.....	94
Figura 40 - FAU-USP: croquis de Artigas.....	95
Figura 41 - FAU-USP: croquis de Artigas.....	95
Figura 42 - FAU-USP: croquis de Artigas.....	96
Figura 43 - FAU-USP: anteprojeto/ fachadas.....	99
Figura 44 - FAU-USP: anteprojeto/ detalhe ampliado.....	100
Figura 45 - FAU-USP: anteprojeto/ detalhe dos pilares internos.....	100
Figura 46 - FAU-USP: esquema de distribuição de cargas nos pilares....	102
Figura 47 - FAU-USP: desenhos dos pilares da fachada.....	103
Figura 48 - FAU-USP: detalhe do pilar da fachada construído.....	104
Figura 49 - FAU-USP: estudo preliminar/ planta baixa.....	107
Figura 50 - FAU-USP: anteprojeto/ planta baixa.....	108
Figura 51 - FAU-USP: diagrama unifilar parcial da estrutura.....	110
Figura 52 - FAU-USP: corte transversal.....	111
Figura 53 - FAU-USP: vista da grelha invertida da cobertura.....	113
Figura 54 - FAU-USP: detalhes da grelha da cobertura.....	113
Figura 55 - FAU-USP: salão caramelo e fachada da biblioteca.....	115
Figura 56 - FAU-USP: fachada com marcação de fôrmas.....	117
Figura 57 - Notas sobre a história da Catedral de Brasília.....	120
Figura 58 - Catedral de Brasília: croquis de Niemeyer.....	123
Figura 59 - Catedral de Brasília.....	125
Figura 60 - Catedral de Brasília: esquema de pórtico plano.....	127
Figura 61 - Catedral de Brasília: modelo computacional.....	129
Figura 62 - Catedral de Brasília: planta baixa.....	130
Figura 63 - Catedral de Brasília.....	131
Figura 64 - Catedral de York Minster.....	131
Figura 65 - Catedral de Brasília: diagrama de momentos fletores.....	132

Figura 66 - Catedral de Brasília: diagrama de esforços cortantes.....	132
Figura 67 - Catedral de Brasília: colunas e anel inferior	134
Figura 68 - Catedral de Brasília: vista do espelho d'água.....	134
Figura 69 - Catedral de Brasília: interior da nave.....	135
Figura 70 - First Unitarian Church.....	139
Figura 71 - Catedral de Brasília: concreto aparente.....	141
Figura 72 - Catedral de Brasília: detalhe esquemático do escoramento.....	142
Figura 73 - Catedral de Brasília: Niemeyer no interior da construção.....	143
Figura 74 - Catedral de Brasília: concreto aparente.....	144
Figura 75 - Catedral de Brasília: pintura branca.....	144

*Passei anos me procurando por lugares nenhuns.
Até que não me achei – e fui salvo.*
Manoel de Barros, *Concerto a céu aberto para solos de ave.*

Introdução

Eu faço uma confusão necessária entre engenharia e arquitetura¹.

Paulo Mendes da Rocha

A observação de certas edificações em que a estrutura portante se evidencia na arquitetura provocou-me sempre um certo deslumbramento, justamente por unir a Engenharia Estrutural, que por formação me é tão familiar, à Arquitetura.

A oportunidade de atuar simultaneamente em ambos os campos de conhecimento, na Engenharia em elaboração de projetos estruturais e na Arquitetura no magistério, especificamente no ensino de estruturas, possibilitou-me uma observação privilegiada e sobretudo crítica de ambos, que acabou por gerar a inquietação motivadora dessa pesquisa. Inquietação que se revelou pela constatação de uma relativa ausência de análises estruturais em projetos da Arquitetura Moderna Brasileira.

Corroborando esse argumento, torna-se no mínimo intrigante o artigo escrito por Fernando Serapião, *Uma história para ser contada*², no qual narra a história de Roberto Rossi Zuccolo (1924-1967):

Engenheiro de estruturas, professor de todos os arquitetos modernos saídos do Mackenzie e alinhados com a Escola Paulista, entre eles Paulo Mendes da Rocha. [...] Saí de lá [Instituto de Engenharia, São Paulo, SP] com a sensação de que temos uma história só, mas fragmentada e contada com vieses diferentes. Nas monografias e trabalhos acadêmicos de arquitetura, por exemplo, é difícil encontrar o nome dos calculistas³, mesmo nos projetos em que a estrutura é o ponto de partida⁴.

Muitos são os vieses pelos quais uma história pode ser contada. A “estrutura como ponto de partida” pode ser um deles e, por isso, a investigação do conceito

¹ ROCHA, 2012, p. 102.

² SERAPIÃO, 2009.

³ “Calculistas” como denominação coloquial de engenheiros estruturais.

⁴ SERAPIÃO, op. cit.

forma-estrutura pode se mostrar um campo fértil de pesquisa ao unir questões relacionadas tanto à Arquitetura quanto à Engenharia Estrutural.

Tais questões podem, possivelmente, ser analisadas de modo transdisciplinar, no sentido de procurar pontos de interseção entre estes dois campos que têm como objetivo comum a materialização de projetos no âmbito da construção. Acredita-se aqui que a abordagem de tais projetos por meio da ótica do entrelaçamento desses campos do conhecimento pode agregar maior profundidade às análises.

O conceito forma-estrutura e a possibilidade de sua implementação como princípio projetual poder se configurar como matriz de expressão tectônica, tema dessa pesquisa, procura reestabelecer vínculos entre a Engenharia Estrutural e a Arquitetura, que podem ter se perdido em função da superespecialização característica da época em que vivemos. Vínculos que podem ser resgatados por meio da transdisciplinaridade, compreendida aqui como “a síntese dialética provocada por uma interdisciplinaridade bem-sucedida⁵ que, no caso, se dá pela relação dialógica entre Arquitetura e Engenharia Estrutural, que se pretende norteadora desse trabalho.

No entanto é importante frisar que a oportunidade traz embutida uma dificuldade inicial, uma vez que os campos da Arquitetura e da Engenharia Estrutural se apropriam de alguns termos, para definição de conceitos, que podem adquirir significados diferentes quando usados por uma ou outra disciplina. Para evitar interpretações conflitantes é necessário que se esclareçam seus significados no âmbito dessa pesquisa.

Assim são os termos estrutura, construção, tectônica e forma, por exemplo, que podem ser entendidos de diferentes maneiras em diferentes contextos. Portanto, torna-se necessário, primeiramente, ultrapassar essa questão e para isso definir com precisão o significado atribuído a cada um no, no sentido de estabelecer um entendimento comum às duas disciplinas. Pode-se então começar por definições para os termos estrutura e construção.

Conforme Eduard Franz Sekler (1920-2017), estrutura é um sistema ou princípio de arranjo destinado a lidar com as forças atuantes na edificação, que se materializa nos pórticos, arcos, abóbadas e outros elementos estruturais, ou seja, a

⁵ VASCONCELLOS, 2013, p. 179.

estrutura portante. Já o significado de construção está relacionado com a concreta realização de um princípio ou sistema, realização que pode se dar pela utilização de vários materiais unidos por diferentes métodos⁶.

Com relação ao termo tectônica, pode-se utilizar inicialmente as definições do próprio Sekler e também de Kenneth Frampton (1930-). Para Sekler, a Arquitetura pode manifestar-se por meio da tectônica “quando o objeto construído consegue transmitir a experiência das forças relacionadas às formas em uma edificação”⁷. Já para Frampton, somente unidos, os vetores *topos, typos e tectônico*, conferem legitimidade arquitetônica ao edifício⁸, sendo que o vetor tectônico está relacionado à necessidade da Arquitetura “expressar-se na forma estrutural e construtiva”⁹, além de ser “inseparável do tipo de sua fundação no solo, a ascensão de sua estrutura através da interação do suporte, do vão, da emenda e da junta, do ritmo de seu revestimento e da modulação de sua fenestração”¹⁰.

Quanto ao termo forma, pode-se utilizar inicialmente a definição de Adrian Forty (1948-) que considera o conceito como um “dispositivo exclusivo do pensamento”¹¹, ou seja, uma ideia. Na tentativa de delimitar um pouco mais a compreensão do termo, pode-se também recorrer a Kamita, que associa a materialização da forma, “em uma acepção tradicional, a um invólucro fechado a preservar uma essência”¹².

Finalmente, uma primeira aproximação ao significado do termo forma-estrutura pode surgir por intermédio de Sekler quando se refere à “forma como resultado mais direto, ou como resposta, às forças de trabalho”¹³, associando forma e estrutura em uma única essência. Corroborando a conceituação de Sekler, Guilherme Wisnik, identifica em alguns projetos de João Batista Vilanova Artigas (1915-1985), “uma identidade fundamental entre estrutura espacial e estrutura portante”¹⁴. Tais premissas poderiam servir como chaves iniciais para compreensão do conceito que o termo forma-estrutura pode designar.

⁶ SEKLER, 1965. In: KEPES, 1965, p. 89.

⁷ SEKLER, 1965. In: KEPES, 1965, p. 92.

⁸ FRAMPTON, 1995, p. 2.

⁹ Id., 1990. In: NESBITT, 2015, p. 558.

¹⁰ Id., 1995, p. 26.

¹¹ FORTY, 2012, p. 168.

¹² KAMITA, 1994, p. 96.

¹³ SEKLER, op. cit., p. 89.

¹⁴ WISNIK, 2015, p. 163.

É importante frisar, entretanto, que todos os termos definidos até aqui de maneira introdutória, serão aprofundados ao longo do trabalho.

Para o desenvolvimento da parte conceitual da dissertação não foi possível prescindir de pesquisa histórica, que trouxesse à luz os dados necessários à compreensão do contexto em que se inserem os projetos escolhidos para análise. Pesquisa que tem como origem o momento em que se separam os campos de conhecimento e atuação da Arquitetura e da Engenharia no século XVIII, passando pelas profundas alterações introduzidas na sociedade pela consolidação da Revolução Industrial no final do século XIX e início do século XX, originando o conceito que viria a ser conhecido posteriormente como a forma moderna.

A parte empírica da pesquisa se dará pela análise de três projetos¹⁵ da Arquitetura Moderna Brasileira, construídos entre as décadas de 1950 e 1970, com foco na interação entre Arquitetura e Engenharia Estrutural, buscando, como objetivo, a demonstração da possibilidade do conceito forma-estrutura neles se mostrar como premissa projetual e, por isso, ser matriz de expressão tectônica, entendendo-se matriz como fonte, ponto de origem.

A dissertação está, portanto, organizada em duas partes, sendo a primeira destinada ao embasamento teórico que procurará caracterizar o conceito forma-estrutura, partindo do entendimento da diferenciação entre estrutura espacial arquitetônica e estrutura portante. A investigação da aplicação do conceito é então contextualizada no período da Revolução Industrial e, posteriormente, no período de discussões em torno da forma moderna para, finalmente, ser abordado no período de difusão da Arquitetura Moderna no Brasil, cujo desenvolvimento acabou gerando os três projetos que despertaram a inquietação motivadora dessa pesquisa.

A segunda parte se destina à análise desses projetos, fundamentada pelos conceitos desenvolvidos na primeira parte. Os projetos foram escolhidos inicialmente por terem a estrutura muito evidente. Apenas pelo fato de estarem lá, à vista de todos, porém como que provocando o corpo e a intuição. Estrutura que se evidencia na forma arquitetônica. Por quê assim? O que esses edifícios podem ter em comum? O que expressam?

¹⁵ No âmbito do trabalho serão analisados tanto o projeto como o objeto construído, portanto é importante ter em mente que quando se faz referência ao projeto o termo engloba essas duas instâncias, com o objetivo final de se realizar uma análise arquitetônica.

O primeiro projeto a ser analisado é o Museu de Arte Moderna do Rio de Janeiro (MAM-Rio), construído entre 1954 e 1967, no Rio de Janeiro (RJ). O segundo projeto é o da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo (FAU-USP), construído entre 1966 e 1969, em São Paulo (SP). A Catedral de Brasília, construída entre 1959 e 1970 no eixo monumental de Brasília (DF), é o terceiro projeto a ser analisado.

Procura-se fazer a análise dos projetos e construções por uma ótica transdisciplinar. Para esse propósito foram elencadas categorias cujos fundamentos relacionam Arquitetura e Engenharia Estrutural, de maneira conjunta, aplicando-as em cada projeto conforme as especificidades observadas. A ideia é apontar, por meio das categorias elencadas, o conceito forma-estrutura como premissa projetual, ou seja, existente desde a concepção e com reflexos em todo o desenvolvimento do projeto arquitetônico, sobretudo em sua expressão tectônica.

Para tanto foram selecionadas categorias encontradas no trabalho de H. Seymour Howard Jr., *Structure, An Architect's Approach* (1966), que descrevem as estruturas sob o ponto de vista da Arquitetura¹⁶. No entanto, as estruturas mínimas, adequadas, formais ou esculturais, e pretensiosas, segundo Howard, apesar de relacionarem Arquitetura e Engenharia Estrutural, mostram-se insuficientes para a análise transdisciplinar que se pretende. Por isso serão utilizadas em conjunto com categorias desenvolvidas especificamente para essa pesquisa, criadas a partir da experiência profissional própria na elaboração de projetos estruturais, desenvolvidos ao longo dos últimos 36 anos. Prática que me proporcionou a oportunidade de enfrentamento das questões que emergem das interfaces entre Arquitetura e Engenharia Estrutural e que se traduzem na materialização do projeto pela construção. Tanto a prática de projeto quanto o exercício do magistério e da pesquisa serviram de estímulo à reflexão inserida nesse trabalho. As categorias de análise desenvolvidas a partir dessa reflexão, portanto, têm como objetivo estreitar os vínculos entre as duas disciplinas. Imposição da forma, legibilidade estrutural e materialidade estrutural são as categorias propostas para, em conjunto com as de Howard fundamentarem a análise dos projetos selecionados.

¹⁶ Existem outras propostas de classificação de estruturas, como a de Heinrich Engel, por exemplo, que as classifica como Forma-ativa, Vetor-ativa, Superfície-ativa e Seção-ativa (SILVER; MCLEAN; EVANS, 2013, p. 58). A classificação de Howard foi escolhida em função de sua pertinência ao tema dessa dissertação.

Para Frampton, “o potencial tectônico completo de qualquer edificação se origina de sua capacidade de articular ambos os aspectos, poético e cognitivo, de sua substância”¹⁷. Entende-se aqui a articulação dos aspectos poético e cognitivo como a mediação entre Arquitetura e Engenharia Estrutural que se procura evidenciar pela formulação do conceito de forma-estrutura. Conceito que, implementado como princípio projetual, pode se configurar como matriz de expressão tectônica de algumas edificações.

¹⁷ FRAMPTON, 1995, p. 26.

2

FORMA-ESTRUTURA

Podemos dizer, portanto, que ocorre uma transição do livre exercício da sintaxe corbusiana - marca da fase inicial do modernismo arquitetônico - para procedimentos de fusão e condensação expressiva entre forma e estrutura¹⁸.

João Masao Kamita

2.1

Forma-estrutura: uma abstração

Entende-se, nessa pesquisa, forma-estrutura como uma abstração, um conceito, ou, segundo Forty ao se referir à forma, como um “dispositivo do pensamento”¹⁹. No entanto, não há como deixar de reconhecer a relação entre a teoria e a prática que alimenta a vida concreta e que é um permanente estímulo à reflexão, que, por sua vez, faz nascer o dispositivo do pensamento.

Partindo dessa premissa, a formulação do conceito²⁰ forma-estrutura, que se pretende norteador dessa pesquisa, tem como fonte a apropriação de experiências passadas como alimento para a reflexão. Reflexão direcionada a uma reinterpretação dessas experiências, agora pela ótica do novo conceito.

Em seu comentário sobre o simbolismo pictórico de Gauguin, em contraposição à pintura “puramente visual” de Monet e Pissarro, Argan enfatiza que, na obra de Gauguin:

“a forma é sempre uma representação, porquanto livre e interpretativa, do mundo exterior; como tal, possui sempre um significado único e preciso: atrás de uma paisagem ou de uma figura ou de uma natureza-morta, o que emerge é sempre um princípio estrutural, um *principium individuationis*, seja ele o relevo plástico, a luz ou a cor. A forma nasce sempre de um processo de análise²¹.”

¹⁸ KAMITA, 2017. In: ZEIN, 2017, p. 126.

¹⁹ FORTY, 2012, p. 168.

²⁰ Para Carlos Antônio Leite Brandão, a construção de um conceito “não emerge de uma *tabula rasa* ou em um plano a-histórico”, sendo, ao contrário, fruto das reflexões alimentadas pela *praxis* que, apropriadas na construção do mundo, contribuem para sua compreensão. Nesse sentido, “o conceito não é uma invenção *ex-nihilo*, mas uma compreensão daquilo que efetivamente vivemos”*.

* BRANDÃO, 2000, p. 1.

²¹ ARGAN, 2010, p. 430 et. seq.

Considerando as proposições anteriores, o conceito forma-estrutura procura caracterizar a fusão e condensação expressiva entre a forma e a estrutura, a que Kamita se refere, originado por um processo de análise, conforme a formulação de Argan sobre a origem da forma em Gauguin. No caso, um processo de análise que considera a criação do espaço arquitetônico inerente e vinculado às condições estruturantes de sua materialização. O conceito forma-estrutura tem, portanto, como *principium individuationis* a associação de forma e estrutura em uma única essência.

Conceito que se materializa em diversas edificações a partir de diferentes projetos, com suas respectivas singularidades, podendo ser um princípio projetual a ancorar a criação arquitetônica, articulando as decisões que orientam seu desenvolvimento. Idealmente pode também ser a matriz de uma expressão tectônica, na medida em que a materialização pela construção teria como resultado a comunicação de seu processo construtivo. Comunicação que, segundo Sekler, se dá por meio de uma experiência do sujeito, pela percepção da “realização de um conceito intangível, no caso a estrutura, materializado pela construção, que ganha expressão visual através da tectônica”²² e que, por isso, se manifesta empaticamente. O conceito de manifestação empática na Arquitetura, por sua vez, foi formulado por Heinrich Wölfflin (1864-1945) em dissertação de 1886: *Prolegomena zu einer Psychologie der Architektur*, como aponta Sekler²³.

A experiência empática poderia ser analisada também por meio das considerações que Frampton faz sobre uma propriedade expressiva da tectônica a partir de um ensaio de Heidegger, intitulado *Sobre a Origem da Obra de Arte*, escrito em 1956. A expressão tectônica, segundo a leitura de Frampton, ativaria a noção etimológica de *techne*, derivada do verbo grego *tikto*, com o significado de produzir, associando na mesma palavra a existência simultânea de arte e ofício, uma vez que, para os gregos, os termos designariam uma única coisa. Tal associação indicaria o que está latente no trabalho e por isso, segundo Frampton, a expressão tectônica levaria o significado de *techne* a evidenciar uma condição ontológica de uma “coisa através da revelação de seu valor epistêmico”²⁴, e a partir daí é possível

²² SEKLER, 1965. In: KEPES, 1965, p. 92.

²³ Ibid., p. 91.

²⁴ FRAMPTON, 1995, p. 23.

deduzir que na expressão tectônica estaria intrínseco ao objeto construído um “saber fazer”.

A possibilidade da geração de uma forma a partir da estrutura portante poderia causar certa estranheza como princípio projetual, por aparentemente situar a Arquitetura exclusivamente no domínio de uma técnica específica e reducionista. No entanto, tal assertiva pode se mostrar sem fundamento, considerando a pluralidade das fontes de criação arquitetônica, podendo a estrutura, neste caso, ser apenas uma delas. A estrutura como “ponto de partida”, segundo Serapião²⁵.

O trabalho do engenheiro estrutural Pier Luigi Nervi (1891-1979) é emblemático nesse sentido. Ada Louise Huxtable (1921-2013) afirma que para Nervi a estrutura, como resultado da identidade com a verdade funcional, técnica e econômica do projeto, seria o “requisito necessário para a obtenção de resultados estéticos satisfatórios que caracterizariam a construção correta”²⁶, indicando a possibilidade da estrutura espacial e da estrutura portante configurarem uma única essência. Essa proposição impregnou o trabalho de Nervi a ponto de Huxtable afirmar que, apesar de existirem muitas maneiras de resolver um problema, a diferença entre as soluções de Nervi e outras soluções pragmáticas quaisquer seria “o equilíbrio tenso e a beleza sensual da poesia, na estrutura de Nervi”²⁷.

Além da identidade entre as estruturas espacial e portante, aqui se coloca novamente o que Sekler descreve como “a realização de um conceito intangível, no caso a estrutura, materializado pela construção, que ganha expressão visual através da tectônica”²⁸, que se manifesta por uma experiência empática. Daí a referência de Huxtable a uma beleza sensual e à poesia dos projetos de Nervi, nos quais a forma e a estrutura são uma única essência que se expressa sensual e poeticamente através da tectônica.

A expressão tectônica das edificações, além de poder se manifestar por vários meios, pode também ser deliberadamente pouco clara, como explicita Sekler:

[...]deixando o observador maravilhado diante de vastas expansões de matéria pairando aparentemente sem esforço sobre um vazio [...] Pode haver uma negação

²⁵ SERAPIÃO, 2009.

²⁶ HUXTABLE, 1960, p. 17.

²⁷ Ibid., p. 31.

²⁸ SEKLER, 1965. In: KEPES, 1965, p. 92.

tectônica criada com o auxílio de formas atectônicas que tendem a perturbar o observador²⁹.

Explicitada pelo caminho das forças ou mesmo pouco clara por sua negação, a expressão tectônica é manifestação empática na medida em que o sujeito interage com as edificações. De fato, conforme Sekler, Wölfflin define a tectônica como uma manifestação particular de empatia no campo da Arquitetura³⁰. Essa manifestação, no entanto, só poderá existir a partir da construção, sua fisicalidade e interação com o sujeito, como enfatiza Frampton, ao afirmar que a construção é uma presença que se distingue de um signo. Para Kate Nesbitt, Frampton relaciona a forma às qualidades tectônicas, quando identifica “a unidade estrutural como a essência irredutível da forma arquitetônica”³¹.

Para além das considerações de Frampton, e da “condensação expressiva entre forma e estrutura”³² apontada por Kamita, forma e estrutura enquanto uma única essência é uma ideia também abordada por Wisnik, quando se refere a alguns projetos de Artigas nos quais aponta uma “identidade fundamental entre a estrutura espacial e a estrutura portante”³³. Essa associação implica que se faça a distinção entre uma e outra para que se compreenda como, em certas circunstâncias, podem adquirir identidade, como uma qualidade do que é idêntico, com paridade absoluta.

Para a compreensão do que se quer dizer com estrutura espacial arquitetônica é necessário contextualizar como se deu a valorização do conceito de espaço no âmbito da Arquitetura. A incorporação do termo espaço ao discurso arquitetônico é recente na história da construção tendo sido abordado por vários autores, entre eles Frampton e Forty. O termo adquiriu uma valorização que Forty atribui às proposições protomodernas elaboradas por Gottfried Semper (1803-1879), que considerava a delimitação espacial como propriedade fundamental da arquitetura. Semper influenciou arquitetos como Adolf Loos (1870-1933), H.P.Berlage (1856-1934), Peter Behrens (1868-1940), entre outros, que eventualmente se manifestaram sobre o conceito em termos de “espaço habitável”, a “forma do espaço”, a “natureza do espaço”³⁴, indicando que a incorporação do

²⁹ SEKLER, 1965. In: KEPES, 1965, p. 94.

³⁰ Ibid., p. 90.

³¹ NESBITT, 2015, p. 556.

³² KAMITA, 2017. In: ZEIN, 2017, p. 126.

³³ WISNIK, 2015, p. 163.

³⁴ FORTY, 2012, p.257.

termo ao discurso arquitetônico se tornou intimamente conectada ao desenvolvimento do modernismo³⁵. Já para Frampton a consideração do espaço como ponto de vista “essencialmente moderno”³⁶, pode ser constatada pela relevância adquirida pelo conceito na evolução da Arquitetura, a ponto de haver uma prioridade dada à:

unidade plástico-espacial do espaço interior e exterior e da assimilação não hierárquica de todas as formas instrumentais, independentemente de sua escala ou implantação, em uma experiência contínua de espaço-tempo³⁷.

Corroborando tais ideias, Forty assinala que uma das características notáveis da produção arquitetônica da década de 1920, foi o intenso empenho da realização arquitetônica como uma “arte do espaço”³⁸. Espaço pensado em termos de sua delimitação, o espaço interior, até surgirem propostas que também consideravam a arte do espaço no contexto do planejamento urbano, ou seja, o espaço exterior, cujas ideias remetem ao pensamento do arquiteto Camillo Sitte (1843-1903)³⁹.

De fato, a estrutura espacial arquitetônica pode ser delimitada por diferentes meios. Mesmo em períodos anteriores ao modernismo, desde a construção do abrigo mais primitivo, a delimitação do espaço pela construção se deu por diferentes práticas construtivas baseadas em técnicas empíricas, que evoluíram no tempo com as civilizações. O período de consolidação da Revolução Industrial, entretanto, foi o cenário em que surgiram novos paradigmas que alteraram essa condição e é a partir desse período que se poderá abordar o significado de estrutura portante⁴⁰.

A partir do final do século XIX, diferentemente de épocas anteriores, foi incorporado às técnicas construtivas o conceito da estrutura dissociada da edificação, a estrutura portante, a estrutura independente. Este fato vem estabelecer uma relação de autonomia entre a estrutura espacial e a estrutura portante até então

³⁵FORTY, 2012, p. 256.

³⁶FRAMPTON, 1995, p.1.

³⁷Ibid., p. 2.

³⁸FORTY, op. cit., p. 265.

³⁹Ibid., p. 258.

⁴⁰Aqui justifica-se o direcionamento da pesquisa para um aprofundamento da questão estrutural pela constatação de que, no campo da Arquitetura, o tema tem sido abordado de maneira exclusivamente técnica. Consequentemente os aspectos conceituais que embasam a compreensão do significado de estrutura portante deixam de receber a atenção que se entende necessária no âmbito dessa pesquisa.

desconhecida no contexto da construção. A ideia de estrutura portante como sistema, um sistema estrutural é, portanto também, um conceito recente na história da construção, sendo importante compreender como esse conceito foi formulado no contexto de desenvolvimento da Engenharia e da própria Arquitetura.

Um primeiro conceito teórico sobre as estruturas se formou a partir das ideias do engenheiro e arquiteto Jean Rodolphe Perronet (1708-1794)⁴¹. Em 1770, Perronet, utilizando-se de raciocínio analógico, associou a constituição dos esqueletos de animais ao sistema portante das edificações. Comparação que permitiu o entendimento deste sistema como algo que poderia estar dissociado do todo edificado propriamente dito, assim como os esqueletos dos animais do restante de sua constituição; caracterizando, inclusive, argumento para defender, em um debate público, a qualidade da concepção estrutural, mais especificamente a esbeltez das colunas, da Igreja Sainte-Geneviève, em Paris, projeto do arquiteto Jacques-Germain Soufflot (1713-1780)⁴² (Figuras 1 e 2).



Figura 1: Igreja Sainte Geneviève, Paris. Jacques-Germain Soufflot.

Crédito: Jean-Baptiste Hilaire

Fonte: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Panth%C3%A9on_1795.jpg (Wikimidia Commons).

⁴¹ De 1747 a 1794, Perronet foi diretor da École des Ponts et Chaussées.

⁴² FORTY, 2012, p. 279.

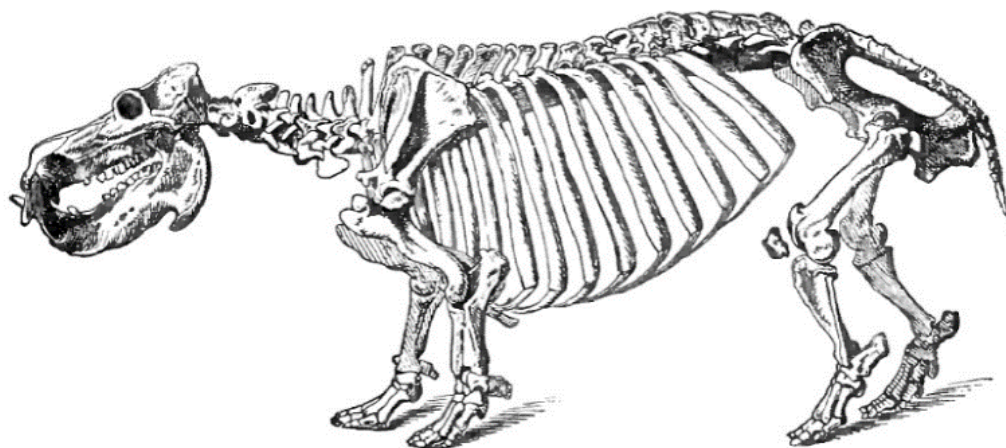


Figura 2: Esqueleto de Hipopótamo.

Fonte: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:HippoSkelLyd2.png> (Wikimida Commons).

A estrutura que, até então, era entendida como um todo indissociável da edificação, ganhou autonomia, configurando-se, a partir deste momento, como algo possivelmente inscrito no âmbito da abstração.

A associação dos conhecimentos de resistência dos materiais, provenientes dos trabalhos de Galileu Galilei (1564-1642) ao estudo da estática, formulados nos preceitos da mecânica clássica, permitiu a elaboração de uma primeira teoria estrutural propriamente dita, quando, em 1826, o engenheiro, matemático e físico Claude Louis Marie Henri Navier (1785-1836) reuniu as formulações existentes sobre a estática dos arcos e das vigas, a estática dos empuxos de solo, a resistência dos materiais e a análise matemática da linha elástica, para fundamentar uma teoria específica às estruturas, analisadas, a partir desses preceitos, como um sistema⁴³.

A evolução das formulações teóricas, desenvolvidas a partir de Navier, permitiu a solução de problemas *a priori*, baseando-se em conceitos abstratos, o que significa “um modo de assumir a universalidade, transcendendo, portanto, o particular”⁴⁴, contrariando as práticas empíricas vigentes, ou seja, o sistema estrutural passou a ser entendido no campo da abstração.

Assim, a abstração das estruturas proposta por Perronet, permitiu a cientistas, como Navier, a formulação de teorias específicas aos sistemas estruturais, possibilitando a elaboração de projetos de detalhamento e montagem de

⁴³ KURRER, 2008, p. 250.

⁴⁴ PIÑON, 2006, p. 12.

peças, previamente dimensionadas para os esforços esperados durante e após a conclusão da construção, cujo bom desempenho estaria diretamente relacionado ao grau de precisão das análises realizadas em antecipação, à qualidade de representação projetual e à boa técnica de construção (Figura 3).

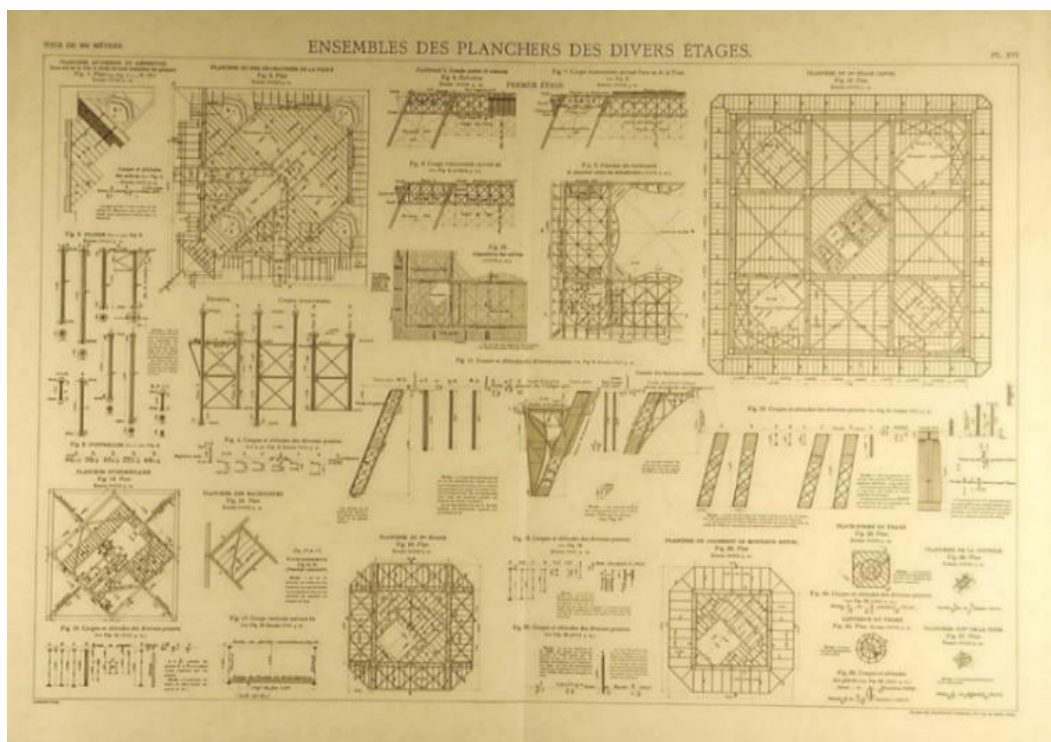


Figura 3: Planta de montagem da Torre Eiffel.

Fonte: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Tour_Eiffel_planche_3.jpg?uselang=fr (Wikimidia Commons).

São, portanto, dois os sistemas estruturais: o sistema abstrato, a partir da concepção formal de um modelo de análise e o sistema construído a partir desse modelo, materializando na obra, por meio da representação projetual e da construção, a estrutura portante.

A associação da estrutura espacial à estrutura portante, como premissa projetual, manifesta, em um primeiro momento, o sistema estrutural abstrato, como um conjunto de elementos estruturais associados que possuem simultaneamente, como potência, a capacidade portante e a capacidade de gerar a conformação de espaços; forma-estrutura que, por fim, poderá se expressar tectonicamente pela construção.

Desde a formulação de Navier este descolamento entre o modelo abstrato e o objeto construído se coloca como um problema da análise estrutural. A questão

relativa às formulações teóricas, provenientes da abstração da estrutura e de sua dissociação com a construção, continua sendo, até os dias atuais, a concepção de um modelo de análise. Como idealizar um modelo que represente o comportamento da estrutura durante a construção e, também, ao longo de toda sua vida útil? A materialização estrutural, fruto da abstração proveniente da análise *a priori*, só se realizará na construção, e será tão mais próxima do objeto construído, quanto mais adequado o modelo abstrato, mais precisa a análise e mais bem executada a construção, a partir da representação projetual.

A criação de um sistema estrutural abstrato, configurado em um modelo de análise, assim como a criação da forma na Arquitetura, é uma operação formal que se dá no plano da ideia e que é fruto de variadas fontes, como, por exemplo, o conhecimento técnico, experiências anteriores e, com base nessas experiências, a intuição criativa. Essas são as fontes que fazem parte do repertório do engenheiro estrutural no momento da escolha dos parâmetros direcionadores da análise a ser realizada. A medida correta de aproximação entre o modelo idealizado e a estrutura construída e submetida aos esforços solicitantes, é o ponto em questão.

Sophia Telles⁴⁵ refere a uma consideração que Nervi faz sobre a constatação desse problema, ao afirmar que as leis que embasam os cálculos coincidem apenas em parte com as leis da forma construída, ou seja, nem sempre o cálculo representa a invenção formal e, por causa disso a solução estrutural escolhida pode ser inadequada, pois para Nervi:

Na medida em que há sempre uma margem ampla de aproximação no resultado do cálculo, não se trata de uma insuficiência intrínseca ao cálculo, mas decorrente do fato dessa operação seguir os processos lógicos, enquanto a invenção formal é notoriamente um processo de intuição⁴⁵.

A distinção entre abstração e materialização em uma atividade fundamentada primeiramente em princípios empíricos, foi o passo que permitiu o desenvolvimento de uma ciência da Engenharia Estrutural que, ao universalizar formulações teóricas, criou e fundamentou o conceito de estrutura independente.

Tal conceito se desenvolveu no contexto socioeconômico e cultural da Revolução Industrial, o que permite que se entenda forma-estrutura como ideia

⁴⁵ TELLES, 1992. In: GUERRA, 2010, p. 252.

protomoderna, interessando aqui, portanto, como o conceito evoluiu até o período em que se inscrevem os projetos objeto de análise nessa pesquisa. Projetos nos quais a estrutura independente, possivelmente, gera a estrutura espacial a partir de uma operação formal, onde a estrutura espacial e a estrutura portante se apresentam como uma síntese que condensa forma e estrutura em uma única essência, além de, pela construção, manifestarem uma expressão tectônica.

2.2

Forma-estrutura no contexto da Revolução Industrial

Com a consolidação da Revolução Industrial, no século XIX, surgiram desafios impostos à Arquitetura e ao planejamento urbano que Habermas sintetiza como “uma nova demanda qualitativa para a criação arquitetônica, o surgimento de novos materiais e técnicas de construção e a sujeição da construção aos novos imperativos funcionais e sobretudo econômicos”⁴⁶.

No que diz respeito aos novos materiais e técnicas de construção, a Engenharia Estrutural ampliou seu espectro de soluções por meio da elaboração da teoria estrutural das treliças e dos métodos gráficos de análise estática aplicados às estruturas metálicas, permitindo, por exemplo, a construção das coberturas de estações ferroviárias e de grandes pavilhões de exposições, com enormes vãos livres que comunicavam o triunfo da Engenharia Estrutural em uma época de deslumbramento com as novas técnicas de construção.

Um bom exemplo desse contexto se revela na montagem de arcos treliçados, cujos projetos já tinham como premissa a fusão da forma com a estrutura portante (Figura 4).

⁴⁶ HABERMAS, 1987, p. 118.



Figura 4: Estação ferroviária de Saint Pancras, 1868, Londres. Crédito: J.Ward .
 Fonte: <https://www.flickr.com/photos/nationalrailwaymuseum/3515448706/in/album-72157617813374437/>
 (Flickr Creative Commons).

Essa técnica se desenvolve pela demanda de uma forma moderna que começa a surgir em função da configuração de novas “esferas da vida, que se furtam à arquitetura palaciana e eclesiástica, bem como à antiga cultura arquitetônica da Europa urbana ou rural”⁴⁷, conforme Habermas.

A antiga cultura arquitetônica se encontrava em transformação pela necessidade da criação de novos espaços. Segundo Frampton, as formulações teóricas contidas no trabalho de August Schmarsow (1853-1936), *A Essência da Criação Arquitetônica*, publicado em 1894, consideravam a “evolução da Arquitetura como o progressivo desdobramento da sensibilidade humana pelo espaço”⁴⁸. Sensibilidade que era também provocada pela arte do final do século XIX, a partir do impressionismo que, segundo Argan, passou a legitimar a autenticidade do ser, agora moderno:

O artista realiza na sensação uma condição de plena autenticidade do ser, alcançando um estado de liberdade total pela renúncia a toda noção habitual e

⁴⁷ HABERMAS, 1987, p.118.

⁴⁸ FRAMPTON, 1995, p. 1.

proporcionando o exemplo do que deveria ser a figura ideal do homem moderno, livre de preconceitos e pronto para a experiência direta do real [...] homem definido exclusivamente pela autenticidade de suas experiências⁴⁹.

Experiências diretas do real a se darem em grandes espaços sem precedência histórica, como estações ferroviárias, pavilhões de exposições, grandes teatros e mercados cobertos. Para Habermas os pavilhões revolucionaram o conceito de espaço, assim como as ferrovias, e suas redes de conexão, o conceito de tempo⁵⁰.

Havia uma demanda de espaços socializantes onde a vida pudesse acontecer em locais que correspondessem às necessidades daquela contemporaneidade. Espaços socializantes que, mais tarde na Alemanha da década de 1920, se traduziriam na afirmativa do arquiteto e urbanista Bruno Taut (1880-1938): “A arquitetura se transformará então na criadora de novas formas sociais”⁵¹.

As novas demandas impregnaram o debate sobre a forma. Debate que, segundo Forty, se pautava em correntes filosóficas diferentes e antagônicas, o que acarretava uma certa polêmica na apropriação do termo para o desenvolvimento de teorias arquitetônicas que, por volta de 1900, no contexto germânico de tais debates assim se apresentava⁵²:

- Forma como propriedade de percepção dos objetos (Immanuel Kant, 1724-1804) ou como propriedade dos objetos propriamente ditos.
- Forma como germe, princípio generativo contido na matéria orgânica ou em obras de arte (Johann Wolfgang von Goethe, 1749-1832), ou como uma ideia precedente às coisas (Georg Wilhelm Friedrich Hegel, 1770-1831).
- Forma como a finalidade da arte, e objetivo total da arte (Adolf Göller, 1846-1902), ou apenas como um signo pelo qual uma ideia ou força seria revelada.
- Forma em obras arquitetônicas fazendo-se presente por sua massa ou por seu espaço.

⁴⁹ ARGAN, 2010, p. 426.

⁵⁰ HABERMAS, 1987, p. 119.

⁵¹ FORTY, 2012, p. 167.

⁵² Ibid, p. 160.

O que se percebe é que, no final do século XIX, as teorias arquitetônicas da forma e as teorias da análise estrutural se encontravam em retroalimentação provocada pela impregnação do capitalismo industrial nos âmbitos da vida.

A construção de estações ferroviárias, pavilhões de exposições e mercados, com grandes vãos livres executados em estrutura metálica, materializavam a fusão da forma com a estrutura portante, configurando a implementação do conceito forma-estrutura, no contexto da Revolução Industrial.

Entretanto, um novo material vinha sendo desenvolvido. Por volta de 1850, o concreto armado começou a ser utilizado como material de construção, de forma empírica, pelo engenheiro Joseph Louis Lambot (1814-1887). Material que, devido a suas características de moldagem, desconfigurou a junta de ligação, agregando à estrutura de concreto graus de hiperestaticidade⁵³ em função de sua característica de monolitividade e continuidade.

Essa característica alterou a configuração de rigidez do conjunto estrutural, pela ligação de elementos não mais por conexões externas, como nas estruturas metálicas, e sim internas, através de barras de aço entrelaçadas, solidarizadas pelo concreto viscoso que, após seu lançamento em moldes, adquiria resistência com as reações químicas que promoviam seu endurecimento.

Na realidade, a formulação teórica aplicada às estruturas de ferro e aço enfrentou um novo problema com o aparecimento do concreto armado, pois as teorias estruturais vigentes à época se baseavam nas propriedades elásticas e mecânicas do aço. Consequentemente uma fronteira de validação teórica se colocava para este novo material, uma vez que a associação de concreto e aço, resultando em um material compósito, conferia-lhe propriedades mecânicas ainda desconhecidas.

A junta monolítica das estruturas de concreto armado foi obtida experimentalmente por François Hennebique (1842-1921)⁵⁴, através da introdução de barras de aço entrelaçadas na ligação entre vigas e pilares, configurando um

⁵³ A hiperestaticidade das estruturas se dá quando, em uma estrutura, há mais reações de apoio e esforços internos a determinar do que o número de equações que possibilitam seu conhecimento, no caso as equações universais da estática.

⁵⁴ Hennebique patenteou seu sistema e exerceu um completo monopólio sobre a construção em concreto armado, divulgando-o de forma agressiva e abrangente por meio de publicidade para divulgação técnica e comercial. É possível constatar o sucesso de sua empresa, pois entre 1893 e 1908 foram abertas 43 representações comerciais em vários países, incluindo o Brasil, na cidade do Rio de Janeiro.

sistema próprio, conhecido internacionalmente como Sistema Hennebique (Figura 5), uma vez que, até então, as estruturas de concreto eram produzidas em analogia com sistemas construtivos em ferro, aço e madeira.

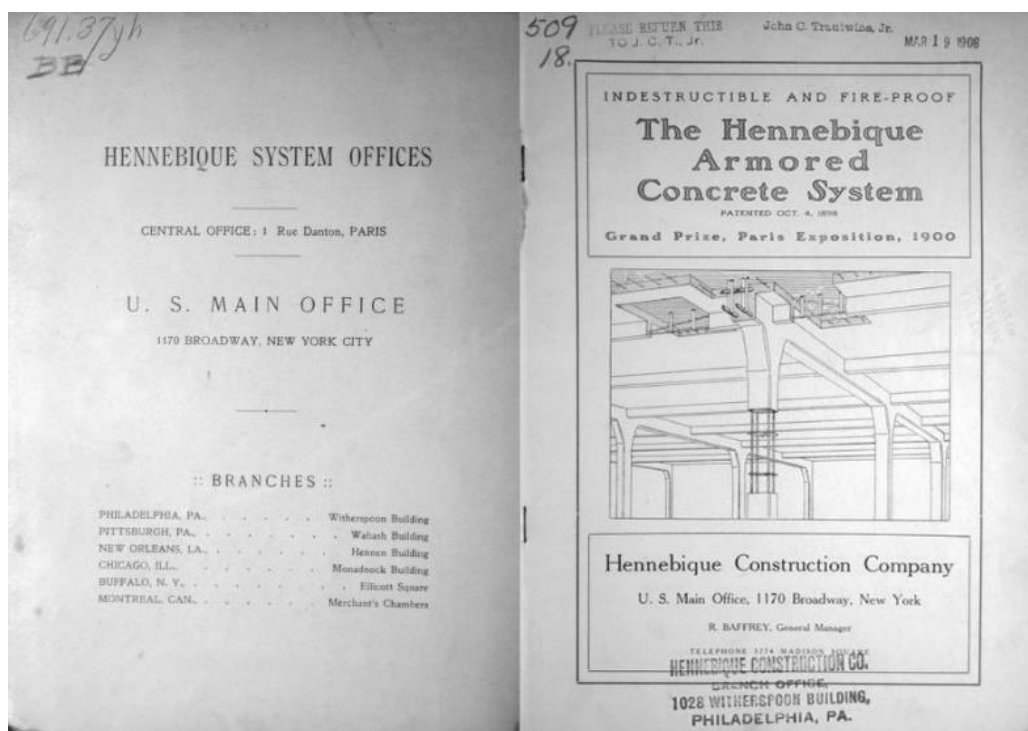


Figura 5: Sistema Hennebique. Publicação de 1908.

Fonte: <https://archive.org/details/IndestructibleAndFire-proofTheHennebiqueArmoredSystem>.

O material foi muito utilizado por arquitetos como Auguste Perret (1874-1954), que com sua arquitetura clássico-racionalista, utilizou o concreto armado do sistema Hennebique como material nobre, tirando partido de sua materialidade, enfatizando uma linguagem estrutural em seus projetos. Linguagem, entretanto, proveniente da legibilidade estrutural firmada pela tradição da construção em ferro e madeira.

A analogia com as estruturas metálicas era tanta que Perret escreveu: “A arquitetura é a arte de fazer as juntas estruturais cantarem”, o que se mostra um paradoxo uma vez que a monoliticidade do concreto exclui a existência de juntas (Figura 6).



Figura 6: Musée de Travaux Publics. Auguste Perret. Vista do hall hipostilo.
(Fotografia: Chevojon studio, sem data, 22.8x22.9cm.
Paris, CAPA, Archives du XXe siècle. CNAM-36-01-FF in LABROUSTE, 2012, p.250).

Entretanto, a materialidade das estruturas de concreto na arquitetura de Perret trazia embutida uma contradição. Perret utilizava o concreto, considerado então o material da modernidade, para expressar o classicismo de sua arquitetura. Não estava preocupado com a caracterização do material como moderno e sim com sua divulgação como material aceitável para uma arquitetura monumental. Sua preocupação era transformar o concreto em material nobre, não necessariamente em material moderno⁵⁵, característica que poderia ser conseguida pela ênfase na propriedade da monoliticidade, por exemplo.

Perret enfatizou a legibilidade da estrutura de concreto de maneira muito clara e racional em alguns de seus projetos, onde os elementos estruturais são distinguidos tanto em sua função como em sua materialidade. Pilares, e vigas de concreto aparente formam uma moldura visível e inteligível, e a estrutura é também uma arquitetura do concreto, apesar da implementação do conceito forma-estrutura na arquitetura de Perret não se manifestar, pois a unidade estrutural não parece ser

⁵⁵ FORTY, 2013, p. 25 et. seq.

a essência irreduzível da forma arquitetônica, como afirma Nesbitt quando se refere às ideias de Frampton relacionadas à tectônica⁵⁶. Para uma mesma estrutura portante várias possibilidades formais de estrutura espacial podem se colocar.

No início do século XX as teorias sobre as estruturas de concreto armado, no entanto, ainda lidavam com problemas advindos da monoliticidade e hiperestaticidade, não resolvidos na abordagem empírica de Hennebique.

Os primeiros estudos teóricos relativos ao concreto armado, elaborados por engenheiros como Paul Christophe (1870-1957), em 1902⁵⁷, não contemplavam uma solução que resolvesse matematicamente as novas incógnitas que surgiram nas equações universais da estática⁵⁸, em função da monoliticidade, que diferenciavam substancialmente as estruturas metálicas e as estruturas de concreto armado (Figuras 7 e 8).

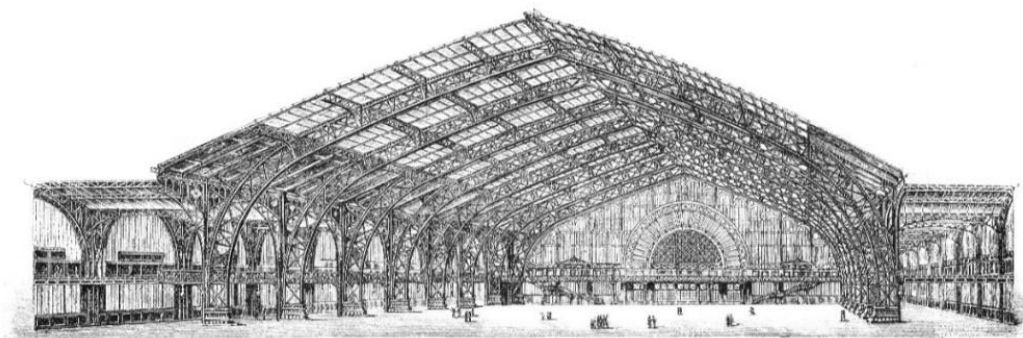


Figura 7: Palácio das Máquinas. Exposição Universal, Paris 1889.

Fonte: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Paris_Maschinenhalle_Weltausstellung_1889_Innenansicht.jpg (Wikimedia Commons).

⁵⁶ NESBITT, 2015, p. 556.

⁵⁷ Em 1902 Paul Christophe escreveu *Le béton armé et ses applications*, considerado na época o melhor compêndio no campo de aplicação do concreto armado.

⁵⁸ Equações que traduzem como nulo o somatório de forças e momentos atuantes na estrutura em equilíbrio.



Figura 8: Musée de Travaux Publics. Auguste Perret.

Fonte: <https://www.flickr.com/photos/109536074@N05/14661941663> (Creative Commons).

Link de autorização <https://www.flickr.com/photos/109536074@N05/14661941663/>.

Sobre a natureza da hiperestaticidade dessas estruturas e enfatizando a diferença com as estruturas metálicas, o engenheiro e professor alemão Willi Gehler (1876-1953), afirmou em 1913:

Nas estruturas de concreto armado, [...] as partes individuais resistentes aos carregamentos, os pilares, vigas e lajes, são produzidas monoliticamente, vindas de um molde [...]. Neste tipo de construção, isso significa que as juntas entre os componentes são minimizadas, resultando em uma rígida e estaticamente indeterminada conexão entre tais partes⁵⁹.

Consequentemente, novas pesquisas precisariam surgir, de modo que as formulações teóricas para o concreto armado se emancipassem das formulações relativas às estruturas metálicas. Tal como o pórtico treliçado e a teoria a ele associada caracterizaram as construções metálicas durante a fase de estabelecimento (1850-1875) e a fase clássica (1875-1900) da teoria estrutural, durante a consolidação da Revolução Industrial, o pórtico rígido proveniente do

⁵⁹ GEHLER, 1913, p. 3 apud KURRER, 2008, p. 530.

concreto armado monolítico de Hennebique se transformou no tipo padrão de estrutura portante, durante a fase classificada como de acumulação (1900-1925)⁶⁰, em que as teorias estruturais clássicas foram então adaptadas ao concreto armado, conforme a periodização estabelecida por Karl Eugen Kurrer. Fase que, de acordo com Habermas, emerge do impulso dado por engenheiros às técnicas de construção desenvolvidas ao longo do século XIX e que, como consequência, abriram para a Arquitetura “possibilidades novas de criação”, que romperam com os “limites clássicos da elaboração construtiva de superfícies e espaços”⁶¹. Nesse contexto surgiu o que veio a ser denominado como a forma moderna.

2.3

Forma-estrutura e a forma moderna

Inicialmente cabe ressaltar que dentre os mestres europeus da Arquitetura Moderna, como Walter Gropius e Mies van der Rohe, entre outros, a ênfase dada nessa pesquisa a Le Corbusier se deve à difusão de suas ideias no Brasil, introduzidas inicialmente por Gregori Warchavchik, que aqui chega em 1923, e posteriormente amplamente divulgadas por Lucio Costa.

Divergindo de Perret, com quem trabalhou em 1908, Le Corbusier tirou partido dos desenvolvimentos conceituais aplicados à estrutura de concreto armado, como sistema independente da espacialidade arquitetônica, para formular os cinco pontos da Arquitetura Moderna.

Stephen Gardiner (1924-2007) afirma que Le Corbusier, ao elaborar em 1913 o sistema Dom-ino para “reconstruir, rápido e barato, cidades arrasadas pela guerra”⁶², formula um sistema de pré-fabricação industrializada cujo enfoque era

⁶⁰ KURRER, 2008, p. 34 et. seq. Teorias que, posteriormente, continuaram sendo aprimoradas em fases classificadas por Kurrer como de invenção (1925-1950), de integração (1950 aos dias atuais), de inovação (1950-1975) e de difusão (1975 aos dias atuais), em um contínuo processo de pesquisa que atualiza constantemente o desenvolvimento da Engenharia Estrutural.

⁶¹ HABERMAS, 1987, p. 119.

⁶² GARDINER, 1977, p. 50.

promover a independência da estrutura em relação às vedações. Independência enfatizada por seu comentário de que “só restava então instalar uma casa dentro da estrutura”⁶³. O sistema estrutural era composto por lajes nervuradas em caixão perdido⁶⁴, apoiadas em pilares recuados das fachadas e uma escada em balanço em uma das extremidades (Figura 9).

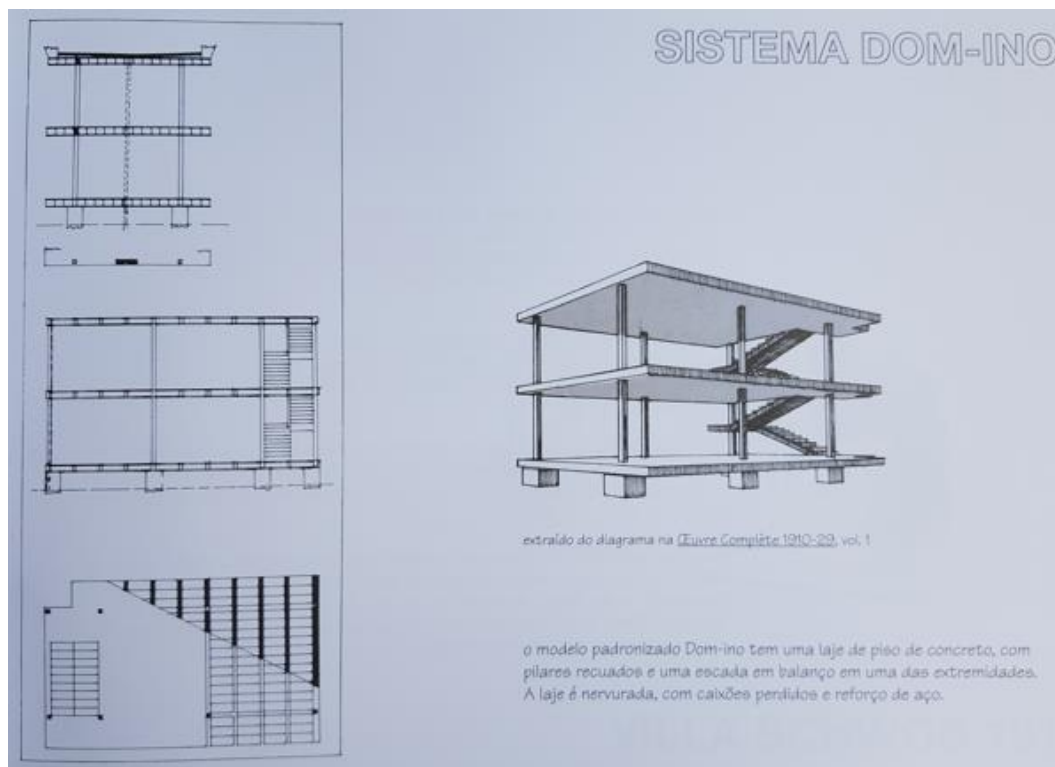


Figura 9: Sistema Dom-ino.
Fonte: BAKER, 1998, p. 63.

Pilotis, terraço jardim, planta livre, fachada livre e janela em fita, eram proposições ancoradas em um entendimento profundo da abstração que constitui o sistema estrutural independente e a liberdade formal que este possibilita. Designou-o Dom-ino, por possuir um fundamento geométrico-constructivo que, segundo Carlos Eduardo Dias Comas, procurava assinalar:

tanto o caráter combinatório e casual do jogo arquitetônico quanto, com ajuda da etimologia, a autoridade da regra sem a qual nenhum jogo pode começar [...] configurando uma sintaxe geométrico-constructiva aberta a uma considerável variedade de possibilidades compositivas, dentro de um marco em que prevalece a

⁶³ LE CORBUSIER In: GARDINER, 1977, p. 51.

⁶⁴ O termo caixão perdido não é gratuito, por ser impossível retirar as fôrmas de madeira do interior dos compartimentos, ou seja, a madeira fica perdida dentro da laje.

ideia de arquitetura como um debate entre elementos construtivos relativamente independentes⁶⁵.

Ao publicar, em 1923, os “Três Lembretes aos Senhores Arquitetos: O Volume, A superfície e A Planta”, Le Corbusier procurou resgatar para a Arquitetura o que ele considerava estar em domínio da Engenharia, pelo desenvolvimento tecnológico proveniente da consolidação da Revolução Industrial, fazendo uma ponte entre o que Telles considera “a racionalidade do mundo industrial” e “as finalidades da arte”⁶⁶. Sua escrita dialética separando claramente o que seria uma “Estética do Engenheiro”, obtida pela lei da economia e conduzida pelo cálculo; e a criação do Arquiteto, fruto da “pura criação de seu espírito”, abre o caminho para uma arquitetura definida pelo “jogo sábio, correto e magnífico dos volumes reunidos sob a luz”⁶⁷.

A geração de Le Corbusier estava em contato tanto com as “descobertas artísticas que haviam sido feitas desde 1910”, entre elas um “novo sentido de espaço”⁶⁸, quanto com as tecnologias de construção desenvolvidas pela engenharia a partir da consolidação da Revolução Industrial, que incluíam os novos materiais como o aço e o concreto armado, e as possibilidades construtivas a eles inerentes.

Para Gideon essa geração foi capaz de “unir esses dois domínios” e, a partir daí, “extrair dos desenvolvimentos da Engenharia os meios necessários para conferir expressão arquitetônica a essa nova noção de espaço”⁶⁹.

Para além da proposição de que a forma deveria seguir a função, Le Corbusier, assim como os arquitetos que vinham trabalhando com os preceitos que vinham se firmando na Arquitetura Moderna, concebe uma arquitetura de atribuição formal respaldada em critérios da abstração geométrica, idealizada e platônica, que vinha se firmando como fundamento estético da modernidade no campo das vanguardas artísticas no início do século XX. Desenvolve em seus projetos uma forma moderna, aquela que, conforme Hélio Piñón, confere ao objeto “uma identidade concreta, lhe faz *ser algo*, sem a necessidade, portanto, de *parecer algo*”, forma moderna que “[...] como a clássica, se baseia em um conjunto de relações

⁶⁵ COMAS, 1994. In: GUERRA, 2010, p. 58 et. seq.

⁶⁶ TELLES, 1983. In: GUERRA, 2010, p.23.

⁶⁷ LE CORBUSIER, 2014, p. 13.

⁶⁸ GIEDEON, 2004, p. 524.

⁶⁹ Ibid, p. 524.

internas ao objeto mas, diferentemente dela, não está determinada por nenhum sistema ou regra anterior ou alheio ao objeto⁷⁰.

Para Comas, a “proposição de renovação compositiva corbusiana era fundamentada por uma ideia de construção qualificada, onde a estrutura em esqueleto seria condição normativa”⁷¹. O que se percebe, nesse primeiro momento, é que ao ancorar sua proposição formal na completa independência do sistema estrutural, não é possível identificar em projetos de Le Corbusier uma possível implementação do conceito de forma-estrutura como premissa projetual.

O fato de existir uma estrutura independente não configura necessariamente que o conceito tenha sido apropriado como princípio projetual. Esse quadro começa a se alterar quando, mais tarde, se aproxima da arquitetura vernacular mediterrânea e passa a abandonar o “envoltório clássico que tinha sido usado nas *villas* de fins da década de 1920 em favor de uma arquitetura baseada na força expressiva de um único elemento arquitetônico”⁷².

Segundo Frampton, os projetos passaram então a ter características que os desvinculavam do entendimento de uma Arquitetura Moderna que se manifestava “em forma de superfícies lisas, mecânicas e planares, dentro de uma moldura estrutural articulada”.

Le Corbusier começa a propor em seus projetos uma “realidade tátil muito distante das visões utópicas do final dos anos 1920”⁷³, onde o material de construção passa a se incorporar à expressão tectônica. Essa evolução se daria no contexto da II Guerra Mundial e suas profundas consequências.

Conforme Ruth Verde Zein, o período posterior à II Guerra Mundial se deu em um cenário de espraiamento das ideias iniciais da modernidade, surgidas nas primeiras décadas do século XX, pela forçada migração daqueles que participaram de suas elaborações. Zein assinala ainda o fato de que, especificamente no campo da Arquitetura, mestres europeus⁷⁴ divulgaram seus pensamentos e projetos em vários países do mundo, principalmente nos Estados Unidos, dando continuidade e consolidando os ideais da Arquitetura Moderna formulados no período entre guerras.

⁷⁰ PIÑÓN, 2006, p. 50.

⁷¹ COMAS, 1994. In: GUERRA, 2010, p. 65.

⁷² FRAMPTON, 1997, p. 273.

⁷³ Ibid, p. 273.

⁷⁴ Inclusive e, principalmente para efeitos dessa pesquisa, Le Corbusier.

A urgência da reconstrução nos países europeus devastados pela guerra também contribuiu para a aplicação daqueles preceitos em projetos de cunho social, proporcionando uma oportunidade para a “realização de suas propostas formais e construtivas”, que começava lentamente a ganhar “uma certa homogeneidade formal e estética” ainda não existente no período anterior à II Guerra Mundial⁷⁵.

Assim, o trabalho de Le Corbusier no período pós-guerra, a partir de 1946, contingenciado pelas circunstâncias sócio-políticas e econômicas do momento, tem como um de seus objetos emblemáticos o projeto e construção da Unidade de Habitação em Marselha, entre 1947 e 1953. Projeto no qual o concreto bruto da estrutura portante é incorporado à materialidade arquitetônica.

Conforme William J. R Curtis, o edifício se transforma em uma espécie de embrião estético de uma arquitetura voltada para a solução dos problemas sociais advindos do pós-guerra, tornando-se o que pode ser considerado um protótipo das soluções adotadas por diferentes arquitetos que se viram frente ao mesmo problema⁷⁶ (Figura 10).



Figura 10: Unidade de Habitação, Marselha. Le Corbusier.

Fonte: https://c1.staticflickr.com/5/4096/4866573615_13bf92dfd0_b.jpg.

⁷⁵ ZEIN, 2005, p. 46.

⁷⁶ CURTIS, 2008, p. 437.

A escala monumental e a materialidade desse empreendimento influenciaram a Arquitetura em diversas partes do mundo, enfatizando uma estética proveniente de uma materialidade obtida pelo concreto utilizado sem revestimento, o concreto bruto, que como dado expressivo comunicava uma possível “pulsção da matéria”⁷⁷, além de expor a estrutura portante do pilotis *in natura*.

Entretanto, o fato do concreto bruto ter sido utilizado nesse projeto não implica a implementação do conceito forma-estrutura no projeto como um todo. A estrutura nesse edifício, a partir do primeiro pavimento é o convencional “esqueleto” que Le Corbusier vinha utilizando desde sua formulação Dom-ino, enfatizando a independência entre a estrutura espacial e a estrutura portante, como é possível observar nas fotos da construção (Figura 11).

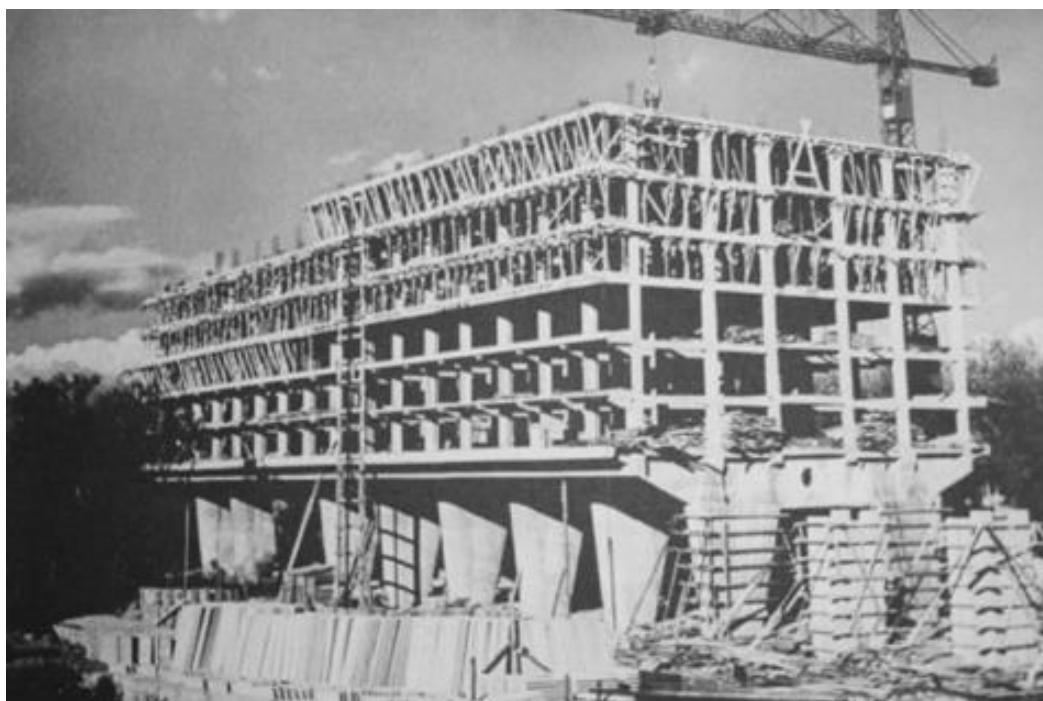


Figura 11: Unidade de Habitação, Marselha. Le Corbusier. Foto da construção.
Fonte: <http://www.tourisme-marseille.com/wp-content/uploads/2015/08/cite-radieuse-le-corbusier-marseille-6.jpg>.

Tal concepção se coloca como diametralmente oposta a trabalhos de Nervi e também de Eduardo Torroja (1899-1961) por exemplo, como o hangar construído em Orvieto, em 1935 e o Hipódromo de Zarzuela, de 1934. Aqui é possível constatar a implementação do conceito forma-estrutura, onde pode-se observar a fusão entre estrutura portante e estrutura espacial em uma única essência (Figuras 12 e 13).

⁷⁷ KAMITA, 1994, p. 121.



Figura 12: Hangar, Orvieto, Italia, 1935. Pier Luigi Nervi.

Photo © Mario Carrieri.

Fonte: <https://omrania.com/inspiration/pier-luigi-nervi-marriage-architecture-engineering/>.



Figura 13: Hipódromo de Zarzuela, Madri, Espanha, 1934. Eduardo Torroja.

Fonte: <https://es.wikiarquitectura.com/edificio/hipodromo-de-la-zarzuela/>

A arquitetura proposta por Le Corbusier para a Unidade de Habitação de Marselha passou a ser designada como “brutalismo”, que nessa primeira fase pode ser denotado por Brutalismo Corbusiano⁷⁸.

Em países com urgência de reconstrução, como a Inglaterra, a estética inaugurada por Le Corbusier serviu aos arquitetos Alison e Peter Smithson, que tiveram seu trabalho amplamente divulgado como “Novo Brutalismo” pelo crítico Reyner Banham, em artigo publicado em 1955. Banham definiu o movimento a partir de três princípios: memorabilidade como uma imagem, clara exibição da estrutura e valoração do material *in natura*⁷⁹.

A partir da década de 1950, o novo brutalismo se espalhou por alguns países simultaneamente, como França, Estados Unidos e Brasil. Projetos aqui desenvolvidos nesse período por Reidy e Artigas, por exemplo, utilizando a materialidade do concreto *in natura* e a clara exibição da estrutura, demonstram a circulação dessas ideias. Mesmo que discussões sobre uma certa independência, propostas principalmente por Artigas, pretendam desvincular os projetos brasileiros do movimento europeu, não há como deixar de ressaltar essa contemporaneidade. Monumentalidade, valorização da estética inerente à coerência de processos construtivos, enaltecimento da técnica estrutural, questões ligadas à ética enfatizando o caráter social da forma, entre outras, se materializavam em concreto em várias partes do mundo.

As obras brutalistas de Le Corbusier foram fundamentais no sentido de conferir à estrutura de concreto armado propriedades plásticas que se diferenciavam substancialmente das proposições iniciais de Perret. Não havia nobreza naquele concreto que se mostrava sem disfarces. Era o concreto nu, o concreto estrutural. Materialidade que, quase contemporaneamente, se manifestou em projetos elaborados em vários países, inclusive no Brasil, como o projeto de Reidy para o MAM-Rio (1953), e um pouco mais tarde em projetos da Escola Paulista, como o projeto de Artigas para a FAU-USP (1960-1962).

A materialidade do concreto armado, contudo, será expressão tectônica mais fortemente enfatizada em projetos que utilizam o material a partir de sua mais pura adequabilidade como material estrutural, ou seja, onde também se apresenta uma legibilidade estrutural pela materialização de um sistema idealizado a partir de um

⁷⁸ ZEIN, 2005, p. 18.

⁷⁹ BANHAM, 1955, p. 19.

modelo abstrato, pensado como estratégia formal na concepção arquitetônica, ou seja, pela implementação do conceito forma-estrutura. Materialidade e legibilidade estrutural se manifestarão de forma mais ou menos expressiva, na medida em que a estrutura de concreto armado se apresentar *in natura*, com a cor natural do cimento que constitui o concreto, ou colorida, seja pela inserção de pigmentos na mistura do concreto ou mesmo por pintura direta em sua superfície.

Os projetos de Reidy, Artigas e Niemeyer selecionados para análise nessa pesquisa parecem possuir o princípio projetual da forma-estrutura associado à materialidade do concreto armado, que, por fim se manifestaria como matriz de expressão tectônica. Para que a análise de tais projetos possa ser realizada, entretanto, há que se compreender como se deu a difusão da Arquitetura Moderna no Brasil, pelas ideias e atuação de Lucio Costa, bem como o papel que exerceu a Engenharia Estrutural nesse contexto, por meio de Emílio Baumgart.

2.4

Forma-estrutura: Lucio Costa e Emílio Baumgart

As proposições de Le Corbusier foram difundidas no Brasil sobretudo por Lucio Costa (1902-1998) que, ao escrever *Razões da Nova Arquitetura* (1930)⁸⁰, não apenas incorporou suas ideias, como propôs o que considerava uma nova arquitetura para o Brasil. No período entre 1924 e 1937 Costa se envolveu em um “trabalho de decifração conceitual de uma *forma* e de um *estilo* que fossem, simultaneamente, contemporâneos e brasileiros”⁸¹, conforme ressalta Otávio Leonídio.

Costa propunha uma análise dos princípios da arquitetura colonial portuguesa, “civil, rude e simples” e por isso “próxima da contenção formal

⁸⁰ As datas referidas aqui foram extraídas do livro *Sobre Arquitetura*, publicado pelo Centro dos Estudantes Universitários de Arquitetura da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, em 1962. Lucio Costa fez revisões posteriores nos textos, de modo que as datas consideradas pela maioria dos autores para *Razões da Nova Arquitetura* é 1935 e para *Documentação Necessária* é 1938.

⁸¹ LEONÍDIO, 2007, p. 19.

moderna”⁸², a serem incorporados às concepções plásticas corbusianas, lição que registrou em seu texto *Documentação Necessária* (1937). Lucio Costa via na arquitetura colonial portuguesa a oportunidade de:

[...] servir-se dela como material de novas pesquisas, e também para que nós outros, arquitetos modernos, possamos aproveitar a lição da sua experiência de mais de trezentos anos⁸³.

Além de também considerar que precisaria estar em conformidade com as novas técnicas construtivas de seu tempo:

A nova técnica reclama a revisão dos valores plásticos tradicionais. O que caracteriza e, de certo modo, comanda a transformação radical de todos os antigos processos de construção é a ossatura **independente**[...]. A revolução, imposta pela nova técnica, conferiu outra hierarquia aos elementos da construção, destituindo as paredes do pesado encargo que lhes fôra sempre atribuído[...] fabricadas com materiais leves (as paredes), à prova de som e das variações de temperatura; livres do encargo rígido de suportar, deslizam ao lado das colunas impassíveis, param a qualquer distância, ondulam acompanhando o movimento normal do tráfego interno⁸⁴.

Ao propor a atualização de uma experiência construtiva de mais de trezentos anos, tendo como fundamentos os conceitos formulados por Le Corbusier para a Arquitetura Moderna, Lucio Costa incorpora a essa Arquitetura o núcleo de uma identidade e também um contraponto à aculturação de um modernismo exclusivamente tecnicista e internacional. Para uma relação dialógica com a racionalidade inerente à Arquitetura Moderna, Lucio Costa invoca os afetos presentes na memória da cultura construtiva brasileira.

As proposições corbusianas, difundidas aqui como matriz da Arquitetura Moderna Brasileira, seja pelas formulações arquitetônicas relacionadas à forma, seja pelo processo construtivo vinculado a sua materialização, estavam bastante atreladas ao concreto armado como material de construção. Material que já era utilizado com certa frequência na construção civil do país na década de 1930, em um contexto de precariedade de mão de obra especializada e industrialização embrionária. Paradoxalmente, nesse mesmo contexto atuava um grupo qualificado

⁸² WISNIK, 2004. In: ANDREOLI; FORTY, 2004, p. 29.

⁸³ COSTA, 1937. In: COSTA, 1962, p. 88.

⁸⁴ Id., 1930. In: COSTA, 1962, p. 27-28.

de profissionais tanto no campo da Arquitetura, quanto no campo da Engenharia Estrutural. Conforme aponta Ana Luiza Nobre, para Costa:

A feliz conjugação de capacidade e intenção complementares de procedência diversa levou a nossa técnica do concreto armado a adiantar-se a ponto de constituir, a bem dizer, escola autônoma, capaz de orientar, pelo exemplo de sua prática, a técnica estrangeira sob tantos aspectos menos experimentada⁸⁵.

A fala de Costa refletia a experiência que partilhou com o engenheiro Emílio Baumgart (1889-1943) durante a elaboração do projeto para o Ministério da Educação e Saúde em 1936. Baumgart exercia na época um grande protagonismo no campo da Engenharia Estrutural, pois já em 1925 havia fundado o primeiro escritório dedicado exclusivamente ao projeto de estruturas de concreto armado no Brasil, o Escritório Technico Emílio H. Baumgart, posteriormente SEEBLA⁸⁶. Por ocasião da publicação do texto fundador de Costa, Baumgart já havia, por exemplo, elaborado o projeto estrutural do edifício do jornal A Noite, projeto do arquiteto francês Joseph Gire (1872-1933) e do arquiteto brasileiro Elisário Bahiana (1891-1980), cuja obra foi concluída em 1929, tendo sido considerado, na época, o edifício de concreto armado mais alto do mundo⁸⁷.

Na década de 1930, Baumgart, que nunca escreveu ou publicou, já era internacionalmente conhecido pela divulgação de seu trabalho em revistas técnicas francesas e alemãs, como as revistas *Technique des Travaux*, *Beton und Eisen* e *Le Constructeur de Ciment Armé*⁸⁸. Os alunos recém-saídos da Escola Politécnica do Rio de Janeiro que se tornaram seus colaboradores no escritório, encontraram ali uma verdadeira escola, que se configurava por uma aproximação aos preceitos da teoria estrutural entendidos e reprocessados de maneira “baumgartiana”, por sua inventividade e arrojo, e traduzidos em uma metodologia absolutamente personalizada de trabalho que se refletiria na prática do projeto.

Constata-se a importância do trabalho de Baumgart em um artigo publicado na revista *Engineering News Record*, escrito pelo engenheiro J. Boase, que esteve no Brasil em 1944, um ano após sua morte. O propósito da revista era investigar “o

⁸⁵ COSTA, In: NOBRE, 1999, p. 81.

⁸⁶ Serviços de Engenharia Emílio Baumgart, empresa fundada após a morte de Baumgart por seus discípulos, entre eles Arthur Eugênio Jermann, engenheiro estrutural responsável pelo projeto do MAM-Rio.

⁸⁷ VASCONCELOS, 2005, p. 40.

⁸⁸ Id., 1992, p. 24.

surto das construções em concreto armado na América do Sul”⁸⁹. Um trecho do relato de Boase dá conta do talento excepcional de Baumgart e da formação de uma Escola Brasileira do Concreto Armado:

É óbvio, pelo trabalho desenvolvido pelo Sr. Baumgart, que seus projetos foram sempre originais. Seus sócios antigos dirão que ele tinha o “sentimento” do concreto armado, e que se métodos de cálculo não estivessem disponíveis, ele sentia a magnitude e o tipo de tensão. A biblioteca de seu escritório é uma das melhores que se pode encontrar e mostra sinais de uso verdadeiro⁹⁰.

Lucio Costa e Emílio Baumgart criaram escolas em seus respectivos campos de atuação. Escolas entendidas aqui como um conjunto de preceitos comuns a uma determinada área do conhecimento que caracterizam uma unidade de pensamento transmitido pedagogicamente.

Na medida em que houve uma apropriação das proposições da Arquitetura Moderna para as especificidades brasileiras, por meio do trabalho pioneiro de Costa, e essas proposições foram transmitidas contemporaneamente e também às gerações seguintes pela prática arquitetônica, surgiu uma Escola Carioca de Arquitetura Moderna, que Mário de Andrade reconhece em 1943:

A primeira escola, o que pode chamar-se legitimamente de “escola” de arquitetura moderna no Brasil, foi a do Rio de Janeiro, com Lucio Costa à frente, e ainda está inigualada até hoje⁹¹.

Uma Escola também se formou pela transmissão do conhecimento gerado no Escritório Técnico Emílio H. Baumgart. Conhecimento e metodologia de projeto foram transmitidos aos engenheiros que com ele trabalharam e que, após sua morte, comandaram seus próprios escritórios⁹², além de transmitirem seus ensinamentos nas Faculdades de Engenharia em que foram professores. Por esse

⁸⁹ VASCONCELOS, 1992, p. 23.

⁹⁰ BOASE, 1944. In: VASCONCELOS, 1992, p. 23.

“It is obvious from the work that Mr. Baumgart did that his designs were always original. His former associates will tell you that he had the “feel” of reinforced concrete, and that if methods of calculation were not available, he sensed the magnitude and type of stress. His office library is one of the best to be seen anywhere, and it shows signs of real use.”

⁹¹ ANDRADE, 1943. In: SEGAWA, 2014, p. 103.

⁹² Antônio Alves de Noronha (1904-1962), Paulo Rodrigues Fragoso (1904-1991), Sérgio Valle Marques de Souza (1918-2002), Arthur Eugênio Jermann (1914-2006).

motivo, gerações posteriores puderam seguir a tradição. Essa Escola passou a ser conhecida como Escola Brasileira do Concreto⁹³.

No período posterior à II Guerra teria surgido, conforme Zein, uma Escola Paulista com identidade própria que, além de estar em sintonia com os preceitos da Arquitetura Moderna, teria como características a monumentalidade, a valorização da estética inerente à coerência de processos construtivos e o enaltecimento da técnica estrutural, além de abordar questões ligadas à ética, enfatizando o caráter social da forma, inserindo-se “num marco social pragmático e mercantilista, de substrato engenheiral e construtivo” que poderia ser considerada “uma resposta moderna, brasileira e apropriada ao espírito de sua época”⁹⁴. Projetos que, elaborados a partir de um partido que se materializava, entre outras características, em formato de “caixa” fechada em contraste com um entorno aberto, exibindo uma “verdade” de materiais, em alguns casos vinculada a uma “verdade” estrutural⁹⁵, singularizavam aquela arquitetura. Wisnik, ao se referir aos projetos da Escola Paulista, aponta também a adoção de:

“um partido estrutural ousado como definidor da forma, o largo emprego do concreto armado ou protendido, a volumetria compacta encimada por uma cobertura iluminante, a predominância de empenas cegas obstruindo uma relação mais franca entre o interior e o exterior do edifício, e a ênfase na criação de uma espacialidade interna contínua”⁹⁶.

Há indícios nessa arquitetura que podem levar à constatação da implementação do conceito forma-estrutura em alguns projetos. Conceito formulado aqui a partir de experiências históricas que associaram arquitetos e engenheiros estruturais na elaboração de projetos. Segundo Brandão, “transmutar a experiência em conceito é a oportunidade que temos de elaborar a experiência na medida em que nos obrigamos a compreendê-la”⁹⁷.

De fato, a compreensão da possibilidade de haver uma identidade entre estrutura espacial e estrutura portante, associada à materialidade estrutural, que, no limite, pode ser considerada uma propriedade primordial do conceito forma-

⁹³ FONSECA, 2016, p. 182.

⁹⁴ ZEIN, 2005, p. 76.

⁹⁵ Ibid., p. 80 et. seq.

⁹⁶ WISNIK, 2015, p. 153.

⁹⁷ BRANDÃO, 2000, p. 2.

estrutura como matriz de expressão tectônica, pode ampliar as possibilidades de análise tanto de projetos da Escola Carioca quanto da Escola Paulista.

Assim, há que se tentar identificar em quais projetos o conceito pode ter sido princípio projetual e como essa decisão pode ter se manifestado em expressão tectônica.

2.5

Forma-estrutura: categorias de análise

A especulação da possível implementação do conceito forma-estrutura como premissa na concepção projetual arquitetônica, em alguns projetos elaborados e construídos no Rio de Janeiro após a II Guerra Mundial, surgiu a partir da observação de uma característica comum que pareciam possuir. Característica que, em um primeiro momento, apesar de não se notar explicitamente, intuía-se existir. Como já mencionado anteriormente os projetos foram escolhidos inicialmente por terem a estrutura muito evidente. Apenas pelo fato de estarem lá, à vista de todos, porém como que provocando o corpo e a intuição

Para essa investigação foram então escolhidos três projetos: o Museu de Arte Moderna do Rio de Janeiro (MAM-Rio:1954-1967), projeto elaborado pelo arquiteto Affonso Eduardo Reidy e pelo engenheiro Arthur Eugênio Jermann; a Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo (FAU-USP: 1966-1969), projeto elaborado pelos arquitetos João Batista Vilanova Artigas e Carlos Cascaldi e pelo engenheiro João Carlos de Figueiredo Ferraz; e a Catedral de Brasília (1959-1970), projeto elaborado pelo arquiteto Oscar Niemeyer e pelo engenheiro Joaquim Cardozo.

A escolha desses projetos se deu primeiramente pelo despertar da intuição. Obviamente existem vários outros projetos que poderiam ser elencados para análise, elaborados por outros profissionais e construídos em outras cidades. A seleção de apenas três projetos foi contingenciada pela extensão dessa pesquisa, o que não impede que, a partir dessa proposta inicial, outros projetos sejam analisados em outras investigações que venham dar continuidade a esse trabalho.

O aprofundamento dessa pesquisa, no entanto, indicou que o caminho escolhido se mostrava promissor uma vez que, ao se examinar alguns projetos elaborados por esses arquitetos, bem como suas proposições expressas em memoriais descritivos, em textos teóricos e, eventualmente, em apresentações orais nos quais se manifestaram, foi possível constatar a valorização da técnica e da estrutura como elemento apropriado na concepção da forma, a “estrutura como ponto de partida” segundo Serapião⁹⁸.

Reidy, no memorial descritivo do projeto do MAM-Rio, menciona a “integração da estrutura como elemento plástico de importância marcante à solução adotada”⁹⁹.

Artigas, em discurso aos formandos da FAU-USP, em 1955, menciona a relação entre Arquitetura e a técnica do concreto armado:

Mas a arquitetura brasileira apresenta ainda outra característica de indiscutível importância. É o seu caráter inovador no terreno da técnica, o constante aproveitamento em seu bojo de todas as conquistas da engenharia brasileira. O caráter inovador de nossa arquitetura não pode ser apreciado isoladamente, nos limites do fato arquitetônico [...] Seria impossível compreender o caráter inovador da arquitetura brasileira sem nos determos na contribuição extraordinária dada pela moderna técnica do concreto armado, que tem sido capaz de responder às mais audaciosas propostas dos construtores¹⁰⁰.

E também em seu memorial para o concurso de professor titular da FAU-USP:

A estrutura, para o arquiteto, não deve desempenhar o papel humilde de esqueleto, mas exprimir a graça com que os novos materiais permitem dominar as formas cósmicas, com a elegância de vãos maiores, de formas leves¹⁰¹.

Já Niemeyer, ao se referir aos projetos de Brasília, mencionava que em sua arquitetura a preocupação teria sido “caracterizá-la com as próprias estruturas”¹⁰².

Por isso, para efeitos desta pesquisa, pretende-se analisar projetos elaborados por esses três arquitetos, em diferentes anos, materializados em diferentes cidades e constituindo edificações que poderiam apresentar a

⁹⁸ SERAPIÃO, 2009.

⁹⁹ REIDY, 1953. In: SOLAR GRANDJEAN DE MONTIGNY, 1985, p. 94.

¹⁰⁰ ARTIGAS, 1981, p. 17.

¹⁰¹ Id, 1961. In: FERRAZ, 1997, p. 101.

¹⁰² NIEMEYER, 1978, p. 42.

expressividade tectônica apontada por Frampton e Sekler, a partir da adoção do conceito forma-estrutura como premissa projetual.

Para além das formulações teóricas e parafraseando Zein, entende-se aqui que a análise dos projetos seja o verdadeiro caminho, portanto “há que se ir às coisas”¹⁰³. Somente essa análise poderá confirmar o que antes era apenas uma intuição e, por fim, trazer à luz a presença do conceito forma-estrutura como matriz de expressão tectônica que se pretende investigar.

Para tanto, foram selecionadas categorias de análise formuladas por Howard¹⁰⁴, que relacionam arquitetura e estrutura:

- Estruturas mínimas: são caracterizadas por um alto grau de eficiência mecânica com utilização mínima de material.
- Estruturas adequadas: são as estruturas possíveis em atendimento a requisitos arquitetônicos específicos, de modo que se pode renunciar à máxima eficiência estrutural, uma vez que “o que é melhor para a estrutura não é necessariamente melhor para a edificação como um todo”.
- Estruturas formais ou esculturais: são aquelas em que os elementos são exagerados ou cujas formas refletem um uso não eficiente do material, apenas pela causa do impacto emocional.
- Estruturas pretensiosas: são aquelas projetadas apenas pela novidade em si, por uma afirmação de atenção à forma.

A classificação de Howard considera os aspectos funcionais da estrutura e também extrapola sua função exclusivamente portante. Para Howard as estruturas podem comunicar uma qualidade tectônica, identificada por Frampton como “a manifestação de uma estrutura potencialmente poética, no sentido original da palavra grega *poiésis*, como ato de criar e revelar”¹⁰⁵, pela própria configuração como mínimas, adequadas, formais ou esculturais e pretensiosas.

Para Frampton a palavra tectônica não alude ao componente estrutural em si, mas “também na sua amplificação formal relativamente ao conjunto de que faz parte”¹⁰⁶ e por isso as categorias de Howard se mostram pertinentes ao objetivo dessa análise.

¹⁰³ ZEIN, 2005, p. 7.

¹⁰⁴ HOWARD, 1996, p. 8 et seq.

¹⁰⁵ FRAMPTON, 1990. In: NESBITT, 2015, p. 559.

¹⁰⁶ Ibid., p. 560.

Entretanto, para o aprofundamento da análise, foi também necessária a caracterização de categorias adicionais, que considerassem dialogicamente aspectos da Arquitetura que se entrelaçam com aspectos da Engenharia Estrutural, tanto como premissa projetual como na própria prática de projeto. Fundamentadas por essa prática e suas implicações na implementação da construção, tais categorias procuram representar a dinâmica que envolve esse processo. São elas:

- Imposição da forma: como condição de origem e limite de definição do sistema estrutural apropriado.
- Legibilidade estrutural: como propriedade de comunicação de uma presença espacial e de estabilidade e segurança da edificação.
- Materialidade estrutural: como produto de um processo construtivo e instrumento de comunicação de uma ideia.

Como essas categorias foram criadas especificamente para essa pesquisa entende-se necessário aprofundá-las por meio de uma descrição pormenorizada dos critérios que nortearam sua formulação.

A primeira categoria aborda a imposição da forma como fator definidor da solução estrutural, e aí se colocam as categorias de Howard, como consequência dessa imposição. Para a Engenharia Estrutural a imposição da forma funciona como um limitador que condiciona a criação do modelo estrutural. Modelo abstrato, que precisa incorporar em seus elementos todas as propriedades materiais, mecânicas e formais a serem analisadas.

Não está nas mãos do engenheiro estrutural criar um modelo qualquer, ao contrário, o modelo deve se adaptar à forma imposta. De um modo geral, a simplificação bem feita de um modelo estrutural, nas fases iniciais do projeto, permitirá uma análise muito representativa do verdadeiro comportamento estrutural do edifício construído e, para que esse objetivo seja alcançado, o modelo deve sintetizar o problema estático a ser resolvido. Quando bem idealizado no início, pode ser a chave para a solução dos problemas estruturais que se apresentarão em fases posteriores de desenvolvimento e detalhamento do projeto.

Os limites impostos pela forma, em alguns casos, podem inviabilizar uma solução estrutural, seja pela capacidade resistente dos elementos aos esforços solicitantes, pelo cumprimento das normas vigentes, por questões ligadas à realidade das técnicas construtivas e capacitação de mão de obra e por questões econômicas, entre outras.

O engenheiro Joaquim Cardozo, que elaborou o projeto estrutural da Catedral de Brasília (Figura 14), ao se referir à concepção do projeto estrutural, apontava os aspectos contraditórios provenientes de uma imposição da forma e suas consequências para a solução estrutural:

A estrutura da Catedral é constituída de seis elementos de forma estranhíssima, são verdadeiros arcobotantes, não mais escorando uma abóbada, mas escorando-se entre si¹⁰⁷.



Figura 14: Catedral de Brasília. Oscar Niemeyer.

Fonte: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/f2/Catedral_Metropolitana_de_Bras%C3%ADlia_2.jpg.

A segunda categoria aborda a legibilidade estrutural do sistema portante, na medida em que a estrutura, ao se tornar uma presença espacial, pode ser entendida pelo sujeito, não apenas como um elemento da arquitetura, mas também como elemento responsável pela estabilidade e segurança da edificação, além de ser o sistema condutor das cargas em direção a seus pontos de apoio. Essa mesma categoria servirá de ferramenta para a análise da viabilidade tecnológica, que possibilitará a construção do espaço como elemento arquitetônico¹⁰⁸.

¹⁰⁷ CARDOZO, 19--?, p. 179.

¹⁰⁸ A construção de um espaço coberto, de grandes dimensões, com características de continuidade, transparência, permeabilidade e liberdade de circulação, está vinculada a uma solução estrutural específica, que possibilitará a criação do que Kamita define como “o espaço absolutamente social, como dimensão onde o Homem vive e atua, sem barreiras, determinado pela ação humana e sua

No que diz respeito à configuração da estrutura portante, a materialização desse espaço se dará pelo posicionamento de seus apoios, que pode variar em extensão, pela criação de vãos maiores ou menores, e também por sua distribuição, que poderá ser modulada ou não.

Um dos maiores problemas a serem resolvidos pela Engenharia Estrutural é a relação entre as dimensões dos elementos estruturais e a extensão dos vãos a serem vencidos, em função das limitações de resistência aos esforços e as propriedades elásticas do material estrutural utilizado.

Tal categoria pode reforçar ainda a compreensão da expressão tectônica de uma edificação na medida em que também analisa a capacidade de transmissão da sensação de sua solidez por meio da observação visual. Além disso a maneira como a legibilidade estrutural pode afetar o sujeito se traduzirá em expressão tectônica por meio de uma experiência empática que poderá se dar por inquietações provocadas por condições de equilíbrio não apreendidas de imediato, ou mesmo provocações sobre o funcionamento do sistema estrutural em si (Figura 15).



Figura 15: MAM-Rio. Affonso Eduardo Reidy.

Fonte: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/53/MAM_-_Museu_de_Arte_Moderna_do_Rio_de_Janeiro_02.jpg.

extensão definida pelo ato a ser desenvolvido, moderno na medida em que se apresenta como disponibilidade permanente*.

*KAMITA, 1994, p. 21.

A terceira categoria aborda a materialidade da estrutura como produto do processo construtivo e possível instrumento de comunicação de uma ideia. No caso das estruturas de concreto armado, objeto dessa pesquisa, a materialidade pode estar associada à sua propriedade de monoliticidade como possibilidade plástica, mas também ao processo construtivo e o resultado desse processo como comunicador de uma ideia.

Em virtude do grau de controle tecnológico envolvido na construção, que vai desde processos muito artesanais até processos mais industrializados de fabricação, a materialidade da estrutura de concreto pode exprimir ideias a serem comunicadas pelo projeto e também expor paradoxos ligados às condições socioeconômicas e culturais do local em que o projeto foi construído. Os projetos da Escola Paulista, desenvolvidos a partir da década de 1950, por exemplo, fazem uso do material como “proposição estética que se pretende carregada de motivações éticas”¹⁰⁹, para além de sua função estrutural, e essa propriedade está relacionada com o processo construtivo do concreto aparente (Figura 16).



Figura 16: FAU-USP. João Batista Vilanova Artigas.

Fonte: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/85/Faculdade_de_Arquitetura_e_Urbanismo_-_USP_01.jpg.

¹⁰⁹ WISNICK, 2015, p. 154.

Para essa pesquisa os pontos de interesse são: onde os limites de imposição da forma se colocaram, quais foram as soluções adotadas e em que medida essa imposição interagiu com a Engenharia Estrutural para a geração da forma desejada; com que clareza a legibilidade estrutural se manifesta e como isso se reflete na expressão tectônica, a partir das soluções estruturais adotadas, em função da tecnologia e conhecimento disponíveis; e ainda, como o processo construtivo se refletiu na materialidade estrutural do concreto aparente e o que essa condição pode comunicar.

A partir das categorias aqui elencadas pretende-se analisar a implementação do conceito forma-estrutura nos projetos selecionados bem como, a partir dessa premissa, verificar se é possível considerá-la como matriz de expressão tectônica.

Há que se ir às coisas.

3

HÁ QUE SE IR ÀS COISAS

“...a arquitetura seguia sendo, como ainda é e sempre será, a arte de construir edifícios”¹¹⁰.

Esse é o caminho. Acredita-se, nesse trabalho, que a ideia materializada pela construção seja o verdadeiro campo de investigação. Somente a análise do projeto e do objeto construído poderá fazer a ponte entre intenção e realização que traz à luz o domínio exercido pelo mestre sobre sua arte. No caso da experiência empática, principalmente, não há como analisá-la se não pela presença da construção e do sujeito. Assim, nessa análise, serão abordados tanto os aspectos projetuais como os executivos, relacionando sempre, dialogicamente, a interação entre Arquitetura e Engenharia Estrutural que possibilitaram sua construção.

É importante frisar aqui também que os projetos escolhidos para essa análise possuem em comum o material que constitui suas estruturas, no caso o concreto armado e/ou protendido, e os aspectos que dizem respeito ao material e seu comportamento estrutural, serão investigados conforme forem se apresentando os projetos e suas especificidades.

Entende-se, portanto, desnecessárias as abordagens que apontem aspectos comuns aos três projetos em suas análises específicas. Serão apontadas nas análises as características mais marcantes e específicas de cada edifício que, no limite, configuram sua identidade e acabam por despertar interesse.

Recomenda-se, portanto, que a leitura das três análises se dê de maneira sequencial, de modo que o desenvolvimento de cada uma sirva de base e continuidade para a subsequente. Esse argumento justifica uma certa assimetria no que diz respeito à extensão de cada análise.

¹¹⁰ ZEIN, 2005, p. 48.

3.1

MUSEU DE ARTE MODERNA DO RIO DE JANEIRO (MAM-Rio)

Projeto: 1953

Construção: 1954-1967

Projeto de Arquitetura: Affonso Eduardo Reidy

Projeto Estrutural: Arthur Eugenio Jermann

Daí o partido adotado, com o predomínio da horizontal em contraposição ao movimento perfil das montanhas e o emprego de uma estrutura extremamente vazada e transparente, que permitirá manter a continuidade dos jardins até o mar, através do próprio edifício, o qual deixará livre uma parte apreciável do pavimento térreo¹¹¹.

Affonso Eduardo Reidy

O Museu de Arte Moderna do Rio de Janeiro (MAM-Rio) é uma presença que sintetiza a criação espacial arquitetônica com a técnica refinada da Engenharia Estrutural, aliada à expressividade monolítica do concreto armado aparente, *in natura*. Em 1953 a motivação de Reidy para a criação desse projeto não vem da “exaltação ufanista que vê no museu o centro de uma nova e revigorada cultura”¹¹². Reidy propõe um Museu que seria moderno pela “atualidade da função que cumpre na sociedade”¹¹³. Opta pelo que entende ser a função primeira de um museu, a que, pedagogicamente, permite a difusão da arte de todos os tempos.

No caso da arte moderna, mais especificamente, essa difusão se daria pela interação no ambiente construído, entre as pessoas e a arte, não mais de forma passiva, mas por intensa experimentação e participação em espaços fluidos, intercomunicantes, abertos, transparentes e receptivos a qualquer proposição expositiva ou pedagógica. Transparência que além de literal, caracterizada na configuração material do bloco de exposições, seria também fenomenal¹¹⁴ para o projeto como um todo. Projeto no qual, conforme Kamita, a qualidade de articulações se mostra pela atribuição do mesmo grau de legibilidade a todos os elementos que o compõem¹¹⁵, confirmando o que Frampton caracteriza como a

¹¹¹ REIDY, 1953 apud BONDUKY, 1999, p. 164.

¹¹² KAMITA, 1994, p. 130.

¹¹³ Ibid., p. 131.

¹¹⁴ ROWE, 1985, p. 40.

¹¹⁵ KAMITA, op. cit., p. 140.

convergência dos vetores *topos*, *typos* e *tectônico*, que, somente unidos, conferem legitimidade arquitetônica ao edifício¹¹⁶.

Para Reidy, a implantação deveria ser a de menor impacto à paisagem deslumbrante, que seria descortinada e também usufruída após a construção, conciliando programas específicos em um bloco de exposições, um bloco escola e um teatro, que se relacionam e se interconectam espacialmente, privilegiando a horizontalidade da edificação em um movimento intencional de inserção e valorização na e da paisagem.

Cada bloco é projetado com características singulares que evidenciam o espaço como protagonista da arquitetura¹¹⁷, por realizar, pela construção, o que Frampton considera o enriquecimento da “prioridade dada ao espaço pela reconsideração dos métodos construtivos e estruturais”, para ele, um dos aspectos intrínsecos da natureza da Arquitetura Moderna¹¹⁸.

Os métodos construtivos e estruturais se mostram no projeto do MAM-Rio de uma maneira quase didática. Reidy posiciona o bloco escola, cuja estrutura independente confirma conceitualmente a implementação dos preceitos modernos corbusianos, discretamente unido ao bloco de exposições e sua estrutura aporticada, evidente e exposta.

O ponto de encontro do teatro com o bloco de exposições, que se dá perpendicularmente por uma marquise, marca a transição entre os sistemas estruturais distintos, pela reconformação do concreto maciço das paredes portantes do teatro nos pórticos espaçados do bloco de exposições. Dessa maneira Reidy destaca não somente a monumentalidade transparente do bloco de exposições, mas também o contraste entre os diferentes sistemas estruturais.

A transparência do bloco de exposições e a massa compacta do teatro valorizam-se por contraste, e ambos enfatizam a descrição elegante do bloco escola, sublinhando as identidades próprias de cada um. Há aqui um jogo de discrepâncias hierárquicas que valorizam cada bloco *per se* e que já se mostravam nos croquis originais do projeto (Figura 17).

¹¹⁶ FRAMPTON, 1995, p. 2.

¹¹⁷ KAMITA, 1994, p. 16.

¹¹⁸ FRAMPTON, op. cit., p. 2.

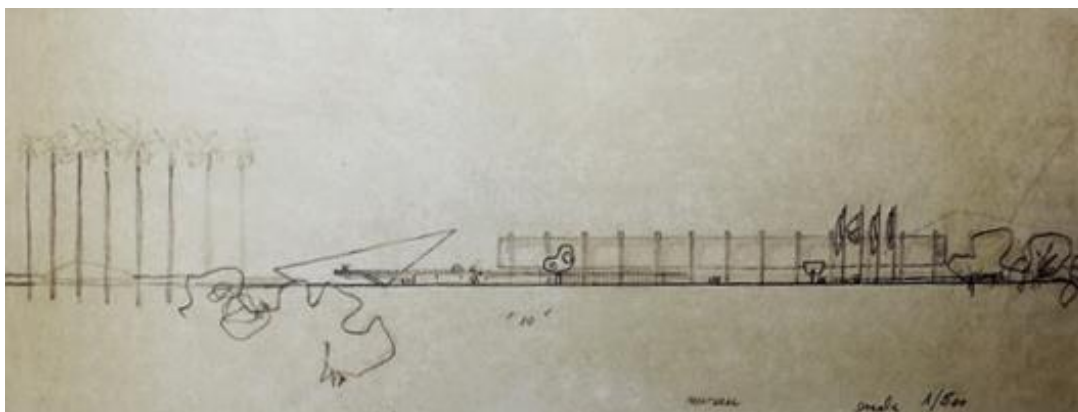


Figura 17: MAM-Rio. Croquis da fachada. Affonso Eduardo Reidy.

Fonte: Affonso Eduardo Reidy, Editora Blau, 2000.

3.1.1

Imposição da forma

No projeto do bloco de exposições, certamente uma evolução do projeto do Colégio Brasil- Paraguai (1952), Reidy apropria o pórtico estrutural como princípio formal, tornando-o a “base originária que define e organiza o espaço”¹¹⁹. Inicialmente um pórtico ainda assimétrico e posteriormente, em sua versão final, um pórtico simétrico que, por sua repetição, gera o edifício. Assim, no bloco de exposições, desde os croquis iniciais, Reidy já demonstra uma intenção projetual ancorada em uma possível implementação do conceito de forma-estrutura, fundindo estrutura espacial e estrutura portante em uma única essência¹²⁰ (Figura 18).

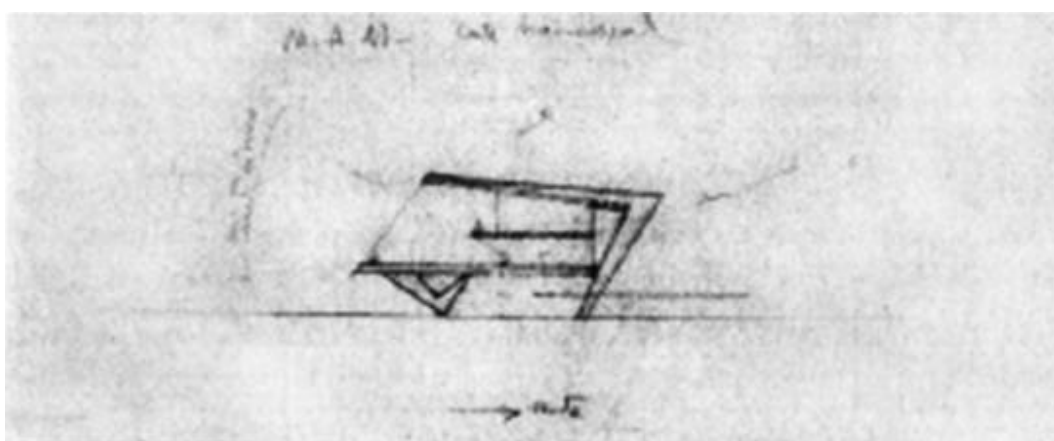


Figura 18: MAM-Rio. Croquis inicial do corte transversal. Affonso Eduardo Reidy.

Fonte: Affonso Eduardo Reidy, Editora Blau, 2000.

¹¹⁹ KAMITA, 1994, p. 119.

¹²⁰ Estratégia projetual que confere ao processo de representação arquitetônica uma peculiaridade, que se traduzirá na importância conferida ao corte transversal como elemento fundamental para sua legibilidade e compreensão.

Tal intenção se realizaria por meio do que Reidy descrevia no memorial descritivo do projeto como “as novas técnicas de construção”, que associavam a estrutura independente aos princípios corbusianos:

A própria noção do espaço arquitetural modificou-se. O desenvolvimento das novas técnicas de construção deu lugar à ‘estrutura independente’ e, como consequência, ao ‘plano livre’ [...] ¹²¹.

Ora, essa era a proposição formulada no conceito Dom-ino, conhecida e implementada no projeto do Ministério em 1936, ou seja, nenhuma novidade estava sendo apresentada pelo argumento. Mas o que faz Reidy no bloco de exposições? Não só propõe a estrutura independente como desloca-a para fora do corpo da construção, formando um exoesqueleto, potencializando ainda mais a noção de independência.

O processo de depuração da forma pelo qual passa o projeto do MAM-Rio parte de um esquema que, além de formalmente incorporar a estrutura portante do bloco de exposições, que se exhibe ao sujeito, realiza-se na organização dos pontos de interseção dos blocos. Esses são os pontos pelos quais se promove o entrelaçamento dos espaços, como um sistema de correlações e correspondências ¹²², configurando toda a estrutura espacial da edificação tornando-se, por isso, um fator intrínseco à sua expressão tectônica.

No entanto, é o exoesqueleto do bloco de exposições que materializa o espaço a partir da fusão da forma com a estrutura portante, o que induz a pesquisa a buscar aí a possibilidade de implementação do conceito forma-estrutura. Esse foi o movimento emblemático na concepção do projeto que justifica concentrar a investigação apenas nesse bloco.

A apropriação formal do pórtico estrutural no bloco de exposições se firma numa compreensão profunda das proposições corbusianas quanto à independência da estrutura portante, explicitada pelo esquema Dom-ino e compreendida por Reidy em toda a sua profundidade.

Ao propor um exoesqueleto e, com isso, expor à percepção do sujeito o sistema estrutural aporticado, Reidy abandona a estrutura independente composta

¹²¹ REIDY, 1953. In: BONDUKI, 1999, p. 164.

¹²² KAMITA, 1994, p. 135.

de elementos ortogonais inseridos na delimitação dos espaços internos da edificação, como utilizado no bloco escola. Esse movimento passa a sugerir um novo caminho de forças integrado ao projeto, incorporando ao objeto construído o que Sekler descreve como a manifestação da tectônica pela experiência das forças relacionadas às formas em uma edificação¹²³. Nesse caso, uma experiência corporal do sujeito “no sentido de que o corpo reconstitui o mundo através de sua apropriação tátil da realidade”¹²⁴, sendo essa, portanto, uma experiência empática.

Assim, Reidy dá à estrutura do bloco de exposições uma qualidade tectônica, pela “implementação de um conceito estrutural através da construção”¹²⁵, condensando ali os atributos funcionais e formais da edificação. Por meio dessa decisão projetual, promove uma identidade entre estrutura portante e estrutura espacial.

O arquiteto amplia o conceito do pórtico clássico¹²⁶, ao adotar a composição de dois pórticos coplanares de pilares inclinados de seções variáveis que, por repetição, geram a forma que dá ao projeto a singularidade pela qual é reconhecido. Tal concepção cumpre objetivos funcionais específicos como, por exemplo, a necessária proteção contra a insolação excessiva, por meio da inclinação dos pilares e o posicionamento das abas de laje no topo dos pórticos superiores, além da liberação do espaço, contínuo nos pavimentos de exposições e no térreo, que se dá em função da ausência de apoios distribuídos no interior da edificação, possibilitada pelos pórticos inferiores (Figura 19).

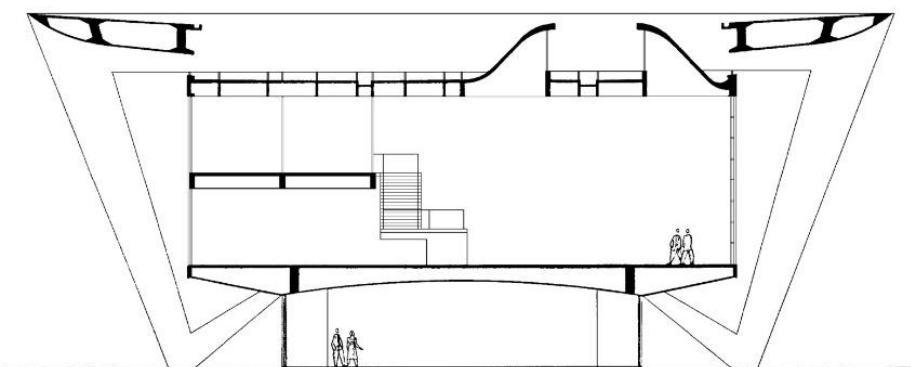


Figura 19: MAM-Rio. Corte transversal do bloco de exposições. Affonso Eduardo Reidy.

Fonte: <https://images.adsttc.com/media/images/563e/7abf/e58e/ce4c/0200/0041/slideshow/f10M443.jpg?1446935226>.

¹²³ SEKLER, 1965. In: KEPES, 1965, p. 92.

¹²⁴ FRAMPTON, 1995, p. 10.

¹²⁵ SEKLER, op. cit., p. 89.

¹²⁶ O pórtico clássico seria composto pela união pilar-viga-pilar, onde os elementos se posicionam perpendiculares entre si.

Com essa proposta Reidy “ênfatiza as qualidades expressivas que claramente se relacionam com o jogo de forças e arranjos correspondentes das partes na construção”, que Sekler qualifica como expressividade tectônica¹²⁷. Expressividade a se manifestar na estrutura construída e, para tanto, o jogo de forças e sua fundamental condição de equilíbrio precisariam ser resolvidos pela Engenharia Estrutural, considerando, principalmente, a singularidade da configuração plástica do pórtico de Reidy.

A concepção do desenho do pórtico condicionaria soluções estruturais específicas, e, por isso, a imposição da forma aqui é determinante. Imposição que levaria à necessidade de idealização de um modelo abstrato de análise estrutural que possuísse propriedades capazes de adequar a distribuição dos esforços solicitantes a sua geometria peculiar, e que estivesse em sintonia com o rigor projetual de sua concepção arquitetônica.

As medidas cuidadosamente estudadas na fase de concepção arquitetônica indicam um perfeito ajuste entre as dimensões desejadas pela arquitetura e as dimensões que a estrutura precisaria possuir, de modo a resistir aos esforços que a solicitam, estratégia provavelmente desenvolvida em conjunto por Reidy e Hermann. Entretanto, essa associação, mesmo na fase de concepção do projeto arquitetônico, nem sempre resulta em uma otimização onde, parafraseando Cardozo, a “forma estética” seria uma consequência da “forma estática”¹²⁸. Essa conformidade se traduziria no que Howard classifica como as estruturas mínimas, ou seja, aquelas que possuem um alto grau de eficiência mecânica com utilização mínima de material.

No artigo *Forma Estática-Forma Estética*, Cardozo propõe, como verdadeiro, ser “a forma projetada pelo arquiteto uma forma estabelecida *a priori*, apenas *condicionada* a uma questão de estabilidade, mas nunca resultante *a posteriori* dessa última”¹²⁹, sendo, portanto, a imposição da forma uma primazia do projeto arquitetônico. Essa premissa está presente no projeto do bloco de exposições do MAM-Rio.

¹²⁷ SEKLER, 1965. In: KEPES, 1965, p. 89.

¹²⁸ CARDOZO, 1958, p. 136.

¹²⁹ Ibid., p. 136.

Os pórticos do bloco de exposições só poderiam ser considerados uma estrutura mínima se tanto os pilares do pórtico inferior, como os do pórtico superior, fossem perpendiculares às vigas que suportam e também à base onde se apoiam, ou seja, o pórtico clássico.

O formato inclinado dos pórticos gerou esforços horizontais provenientes dessa inclinação, que obrigaram a criação de elementos estruturais adicionais para promover o equilíbrio da edificação. Elementos que, desvinculados da arquitetura e construídos abaixo do nível do piso do pavimento térreo, serão examinados na seção seguinte, dedicada à legibilidade estrutural. Portanto, devido à imposição da forma, não é possível considerar, segundo os critérios de Howard, que a estrutura do bloco de exposições do MAM-Rio seja uma estrutura mínima, apesar do rigor conceitual pela qual se constitui.

Como já dito aqui, a materialização estrutural, fruto da abstração proveniente da análise *a priori*, só se realizará na construção, e será tão mais próxima do objeto construído, quanto mais adequado o modelo abstrato, mais precisa a análise e mais bem executada a construção, a partir da representação projetual. Por isso o modelo estrutural idealizado por Jermann precisaria considerar uma distribuição de esforços compatível com o projeto arquitetônico de Reidy e a chave de solução do problema estaria na ligação da base do pórtico com os elementos de fundação.

Teoricamente dois modelos abstratos poderiam representar essa ligação: o primeiro, considerando a monoliticidade do conjunto pelo engastamento dos pilares nos blocos de fundação; o segundo, substituindo o engastamento por articulações nesses mesmos pontos. Ao se realizar uma análise do comportamento estrutural desses dois modelos, é possível observar uma distinção entre os esforços que se desenvolvem em um e em outro.

A consideração de engastamento no primeiro modelo gera esforços nos pontos de apoio dos pilares do pórtico, que poderiam ser representados pelo respectivo diagrama¹³⁰ de momentos fletores (Figura 20).

¹³⁰ Na Engenharia Estrutural os esforços solicitantes das estruturas são representados por meio de diagramas.

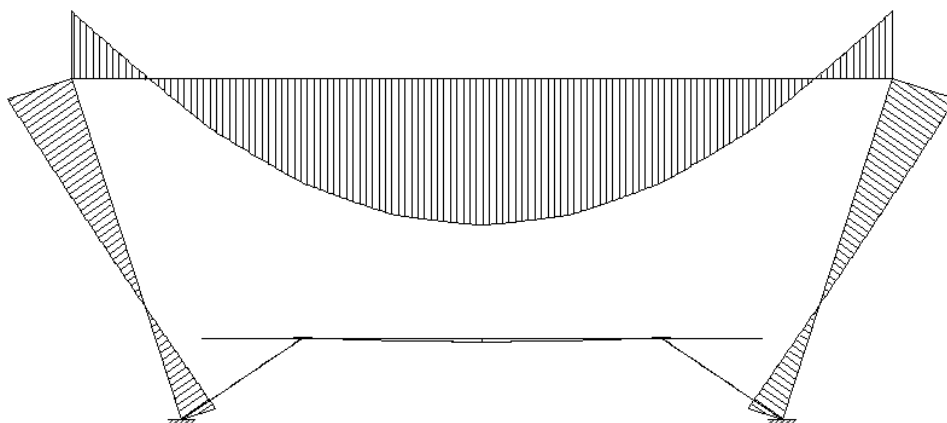


Figura 20: MAM-Rio. Esquema estrutural de pórtico bi-engastado.
Diagrama de momentos fletores para o carregamento de peso próprio.
Fonte: a autora.

Todavia, ao se abrir mão da monoliticidade do conjunto pórtico-fundação, configurada pelo engastamento no primeiro modelo, os momentos fletores nas bases desaparecem. A materialização dessa ideia se dá pela introdução de articulações nos pontos de ligação entre os pilares e as fundações, como aparelhos de apoio, por exemplo. Esse é o caso do segundo modelo, cujo diagrama de momentos fletores mostra claramente o desaparecimento desses esforços nos pontos de apoio dos pilares na base (Figura 21).

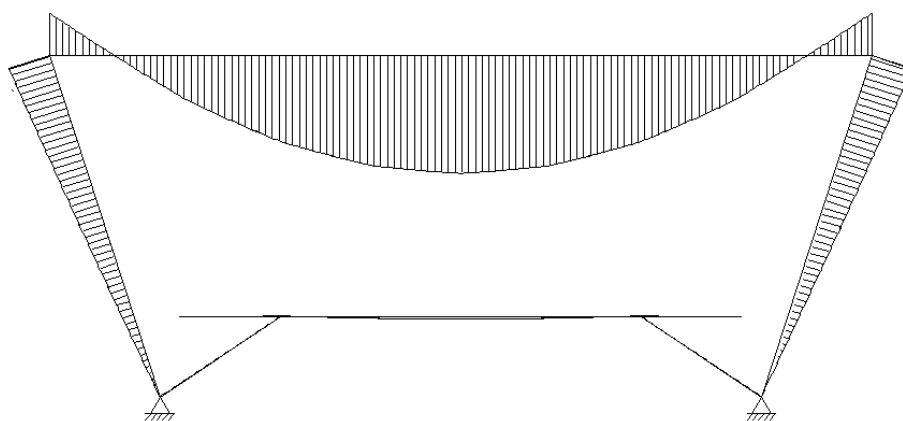


Figura 21: MAM-Rio. Esquema estrutural de pórtico bi-articulado.
Diagrama de momentos fletores para o carregamento de peso próprio.
Fonte: a autora.

Nota-se que, no segundo modelo, caso do pórtico onde foram inseridas as articulações na base, o diagrama que representa os esforços se aproxima da geometria proposta por Reidy para o desenho dos pilares: os esforços aumentam na

medida em que a seção dos pilares aumenta também. Esse foi, provavelmente, o passo dado por Jermann na direção de uma fusão entre a concepção do modelo abstrato, resultante da imposição da forma, e sua materialização, a ser realizada pela construção, imprimindo ao projeto estrutural o mesmo rigor que caracterizava o projeto de Reidy.

A imposição da forma, como fator definidor da solução estrutural dos pórticos do bloco de exposições, configura essa estrutura como adequada, segundo as categorias estabelecidas por Howard, ou seja, aquela possível em atendimento a requisitos arquitetônicos específicos. A escolha do modelo de análise estrutural apropriado, nesse caso, foi o que permitiu uma perfeita sintonia entre o desenho dos pilares, seu comportamento estrutural e sua materialização e isso se traduz em expressão tectônica, na medida em que aqui, conforme mencionado por Sekler, o objeto construído consegue transmitir a experiência das forças relacionadas às formas em uma edificação¹³¹.

É interessante notar, entretanto, que essa característica se reflete especificamente nos pilares dos pórticos e não nas vigas superiores e inferiores, onde o princípio não foi aplicado, sendo que, nas vigas inferiores seu formato explicitamente contraria o diagrama. Essa conjuntura reforça ainda mais o entendimento da estrutura como adequada.

A sintonia entre arquitetura e estrutura é consequência de uma metodologia de trabalho muito específica que, vale lembrar, era regularmente adotada por Reidy, uma vez que usualmente promovia a integração entre todas as disciplinas do projeto, conforme relata o arquiteto Francisco Bolonha (1923-2006)¹³²:

A priori, o essencial era o dimensionamento dos pilares, vigas e lajes, assim como o comportamento das instalações para não ver lesado o conceito do sistema estrutural: atingia-se então a ‘homogeneidade quanto à operação do pensamento’. Reidy assessorava-se de excelentes engenheiros especialistas, discutindo a forma mais racional e eficiente para a condução do empreendimento¹³³.

¹³¹ SEKLER, 1965. In: KEPES, 1965, p. 92.

¹³² Francisco Bolonha trabalhou inicialmente no escritório de Reidy e depois, no Departamento de Habitação popular da prefeitura, tendo participado da elaboração de vários projetos, inclusive o o Pedregulho*.

* BONDUKI, 1999, p. 16.

¹³³ Ibid., p. 17.

O depoimento de Bolonha retrata, naquela metodologia de trabalho, uma prioridade dada ao sistema estrutural no processo de integração das disciplinas, que possivelmente foi a tônica também no projeto do MAM-Rio, especialmente no bloco de exposições. Pode-se entender a referência de Bolonha à homogeneidade quanto à operação do pensamento como o resultado de um trabalho conjunto entre Arquitetura, Engenharia Estrutural e as demais especialidades que fizeram parte da elaboração do projeto. Por essa razão, coerente com sua metodologia de trabalho, quando apresentou o memorial de projeto do museu, Reidy pode descrever a estrutura do bloco de exposições com todos os critérios técnicos provavelmente definidos, verificados e validados previamente.

Os pórticos, que ele chama de quadros, utilizados como matriz formal, “elemento plástico de importância marcante” que possibilitariam, pelo reduzido número de apoios, a “mais absoluta liberdade na utilização dos espaços” são os protagonistas na descrição da estrutura, que tem todos os itens a eles relacionados. (Figura 22).



Figura 22: MAM-Rio. Descrição das características da estrutura.

Fonte: SOLAR GRANDJEAN DE MONTIGNY. Affonso Eduardo Reidy, 1985, p. 94. (catálogo da exposição)

Características da estrutura¹³⁴:

- a- Reduzido número de apoios. Distância entre apoios de 26 metros e espaçamento dos quadros de 10 metros.
- b- Eliminação total de colunas no interior das áreas dedicadas a exposições, permitindo a mais absoluta liberdade na utilização dos espaços (120x26 metros

¹³⁴ Transcrição do texto da figura 21.

- de área disponível). O pavimento superior e a cobertura são suspensos, por tirantes de aço às grandes vigas dos quadros.
- c- Utilização das abas de proteção das fachadas, bem como das lajes de cobertura dos “shed”, para o contraventamento dos quadros.
- d- Emprego do concreto sem qualquer revestimento, tirando partido de sua forma, textura e côr. As superfícies serão apicoadas e sujeitas a uma aplicação de “silicone”.
- e- Integração da estrutura, como elemento plástico de importância marcante, à solução espacial adotada.

O item “e” na descrição do memorial é a chave para a compreensão da implementação do conceito forma-estrutura no momento da concepção arquitetônica. Ao mencionar, como intenção projetual, a integração da estrutura com a solução espacial, Reidy promove uma identidade fundamental entre estrutura espacial e a estrutura portante, como mais tarde seria observado por Wisnik¹³⁵ ao analisar alguns projetos de Artigas, e também como formulado por Kamita, quando menciona “procedimentos de fusão e condensação expressiva entre forma e estrutura”¹³⁶.

A “integração da estrutura como elemento plástico de importância marcante à solução espacial adotada”, mencionada no memorial descritivo, se dá pela repetição regularmente espaçada de um elemento padrão, um pórtico; conceito arquitetônico e estrutural sem significado *a priori*, por se tratar de elemento genérico, com potencial estrutural e construtivo, utilizado como solução para propostas arquitetônicas variadas.

Partindo dessa premissa, Reidy configura uma matriz conceitual cujo produto é a “mais absoluta liberdade na utilização de espaços”¹³⁷, liberdade amplificada pela transparência do conjunto que é obtida pela modulação do espaçamento de repetição dos pórticos, além de seu formato peculiar. Pórticos que são elementos plásticos, mas também estruturais, sendo a imposição da forma, portanto, um dos fatores que proporcionam a manifestação de sua expressão tectônica.

¹³⁵ WISNIK, 2015, p.163.

¹³⁶ KAMITA, 2017. In: ZEIN, 2017, p. 126.

¹³⁷ REIDY, 1953. In: SOLAR GRANDJEAN DE MONTIGNY, 1985, p. 94.

3.1.2

Legibilidade estrutural

Ao deslocar a estrutura portante do bloco de exposições para seu exterior e afastá-la do corpo da edificação, Reidy dificulta sua legibilidade estrutural mas ao mesmo tempo passa a instigá-la (Figura 23).

Como seria possível o edifício, que se materializa em forma de caixa elevada do solo, estar afastado de seu elemento de apoio principal? Estaria sendo totalmente suportado pelos pilares inclinados que tocam a superfície inferior da caixa? Qual seria então a função dos demais elementos que se elevam, passam por cima do edifício e delimitam todo o espaço?



Figura 23: MAM-Rio. Foto da construção. Affonso Eduardo Reidy.
Notas de aula do Professor Eduardo Thomaz - IME¹³⁸.
Fonte: <http://aquarius.ime.eb.br/~webde2/prof/ethomaz/mam.pdf>.

A materialização do conceito de forma-estrutura proposta por Reidy no bloco de exposições do MAM-Rio, além de gerar “a forma visível e tangível que resulta do processo da construção”¹³⁹, conforme Sekler, resulta em uma expressão

¹³⁸ As ilustrações referentes às notas de aula do Prof. Eduardo Thomaz, do Instituto Militar de Engenharia, IME, são utilizadas neste texto com autorização escrita do autor.

¹³⁹ SEKLER, 1965. In: KEPES, 1965, p.89.

tectônica que é também uma manifestação particular de empatia no campo da Arquitetura, como formulado por Wölfflin¹⁴⁰. Expressão tectônica que está profundamente vinculada ao caminho pouco usual das forças que ali se manifestam, provocando a percepção do sujeito atento por meio de uma experiência que é empática, na medida em que o instiga a desvendar o caminho das forças e as condições de equilíbrio da estrutura, que não se esclarecem de imediato, seja pela inclinação dos pilares dos pórticos, seja pelo vazio do espaço contínuo e sua ausência de apoios internos. De fato, a lógica por trás das decisões projetuais só vem à tona após uma análise cuidadosa e detalhada do projeto.

O pórtico aqui é elemento plástico e também o sistema estrutural que possibilita a construção, porém sua legibilidade não se dá apenas por meio da materialidade do concreto. O material evidencia propriedades estruturais em função de suas características visuais, o que leva sua utilização a uma associação direta com a presença de uma estrutura, sem que necessariamente se compreenda seu funcionamento. Para que seja compreendido o funcionamento do sistema em si, a legibilidade estrutural, é preciso investigar como este se constitui.

A própria definição de sistema, como um conjunto de elementos relacionados entre si, ordenados de acordo com determinados princípios, formando um todo ou uma unidade¹⁴¹, impede que se faça uma leitura superficial por conta da complexidade envolvida nesse processo. Como se relacionam os elementos dos pórticos do bloco de exposições e quais os princípios que os ordenam de modo a configurarem um sistema estrutural? A descrição da estrutura do bloco de exposições permite um entendimento da constituição desse sistema a partir da identificação de seus elementos.

A estrutura é composta por um conjunto de dois pórticos coplanares, um superior e um inferior, que se repetem 14 vezes, espaçados 10,00 m entre si e solidarizados pelas lajes do 1º pavimento, do 2º pavimento e da cobertura.

O edifício tem 130,00m de comprimento, o que acarretaria problemas para a estrutura de concreto armado em função dos coeficientes de dilatação e retração do material que, em uma extensão como essa, poderiam produzir fissuras na estrutura. Assim, já na fase inicial de projeto e de modo coerente com a metodologia

¹⁴⁰ WÖLFFLIN cf. SEKLER, 1965. In: KEPES, 1965, p.91.

¹⁴¹ JAPIASSÚ; MARCONDES, 1996, p. 250.

de trabalho descrita por Bolonha, decidiu-se, de acordo com a tecnologia empregada na época, pela inserção de juntas de dilatação dividindo o conjunto.

A materialização dessas juntas se deu por meio da execução de vigas Gerber¹⁴², com os dentes engenhosamente posicionados em todos os pavimentos (Figura 24).

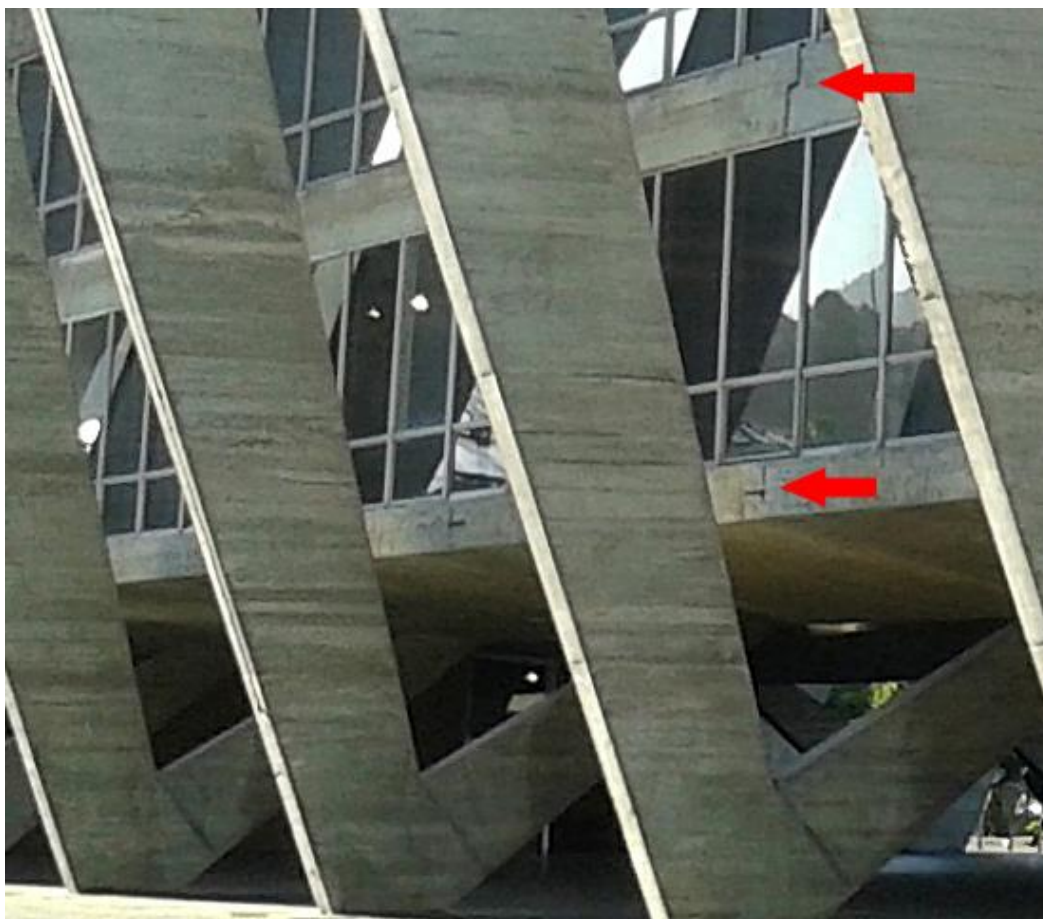


Figura 24: MAM-Rio. Posicionamento das juntas de dilatação / dentes Gerber.
Fonte: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/3e/MAM_Rio_02.jpg.

O pórtico superior sustenta as lajes do piso do 2º pavimento e da cobertura, enquanto o pórtico inferior sustenta a laje de piso do primeiro pavimento. O pórtico inferior é composto por viga de seção transversal variável, que aumenta simetricamente do centro do vão em direção aos dois pilares inclinados onde se

¹⁴² O dente Gerber é um console criado em um pilar ou na extremidade de uma viga, com o objetivo de proporcionar apoio para uma outra viga, promovendo uma ligação sem transmissão de momentos fletores e introduzindo uma separação física entre as partes.

apoia e, mantendo a simetria, se projeta em balanços para além desses pilares, sem tocar nos pilares do pórtico externo superior.

Os pilares inclinados do pórtico inferior também possuem seção transversal variável, que aumenta à medida que saem da laje do piso do 1º pavimento e descem em direção a sua base de apoio, unindo-se à base dos pilares do pórtico superior.

No pórtico superior, cuja altura acima do piso do pavimento térreo é de 16,93m, a viga de seção transversal retangular com largura de 0,60m por altura de 2,75m, vence um vão de 41,00m de comprimento. Essa viga se apoia em dois pilares inclinados de seções transversais variáveis, que diminuem à medida que descem em direção aos blocos sobre as estacas que os apoiam.

Neste edifício, as cargas dos pavimentos não se acumulam hierarquicamente nos pilares, pavimento sobre pavimento, em movimento ascendente coerente com a construção, como nas edificações usuais.

As cargas provenientes da laje do piso do 2º pavimento são suspensas por tirantes metálicos, fixados nas vigas dos pórticos superiores, ou seja, caminham diretamente ao topo para, em seguida, buscarem os pilares externos dos pórticos superiores e depois caminharem às fundações. Já a laje do piso do 1º pavimento se apoia em vigas que, por sua vez, se apoiam diretamente nos pilares inclinados do pórtico inferior.

A relação entre todos os elementos da estrutura e seu funcionamento conjunto configuram o sistema estrutural aporticado do bloco de exposições do MAM-Rio. As especificidades desse sistema implicaram em um processo construtivo peculiar que obrigou a completa construção dos pórticos antes da construção das lajes do 1º e do 2º pavimentos.

Para o sujeito, portanto, é impossível, a partir do objeto construído, perceber a metodologia que orientou a construção, dificultando a legibilidade estrutural e talvez, por isso mesmo, ampliando a experiência empática proveniente da expressão tectônica (Figuras 25 e 26)



Figura 25: MAM-Rio. Foto da construção: piso do 2º pavimento suspenso por tirantes metálicos. Notas de aula do Professor Eduardo Thomaz – IME.
 Fonte: <http://aquarius.ime.eb.br/~webde2/prof/ethomaz/mam.pdf>

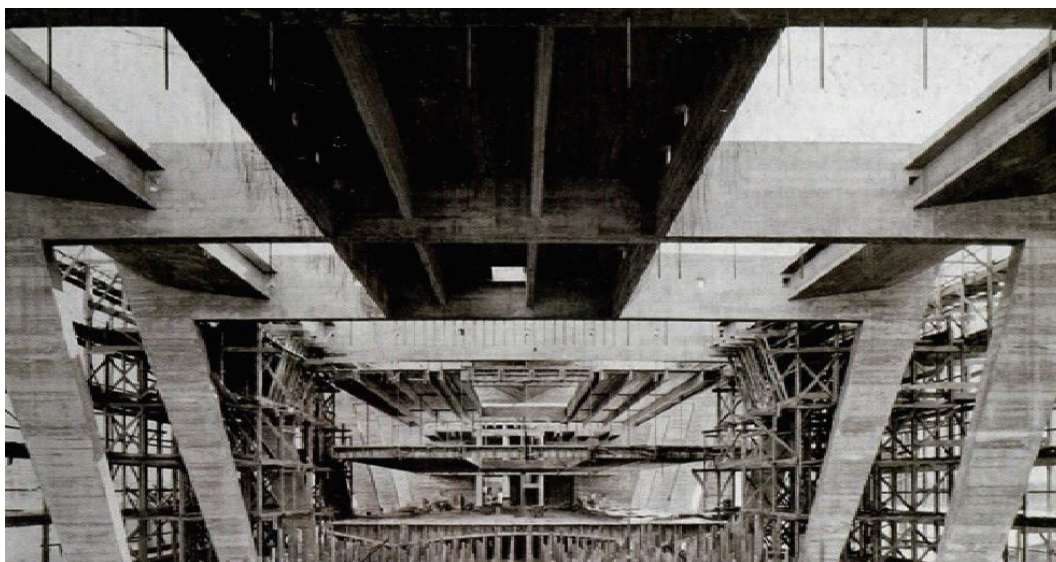


Figura 26: MAM-Rio. Foto da construção: vista geral de toda a estrutura onde é possível observar os pórticos concluídos antes da execução das lajes do 1º e 2º pavimentos. Notas de aula do Professor Eduardo Thomaz – IME.
 Fonte: <http://aquarius.ime.eb.br/~webde2/prof/ethomaz/mam.pdf>

A inclinação dos pilares do pórtico superior para fora da edificação é apenas parcialmente equilibrada pela inclinação, na direção oposta, dos pilares do pórtico

inferior cuja inclinação para dentro do espaço do museu possibilita a diminuição do vão estrutural da viga desse pórtico sem, no entanto, diminuir o vão livre do pavimento térreo. Estratégia que está diretamente relacionada com a intenção da liberação espacial pretendida por Reidy (Figura 27).



Figura 27: MAM-Rio: espaço contínuo no pavimento térreo.

Fonte: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/f3/Riomam.jpg>.

Essa decisão projetual, porém, tem um custo estrutural. O somatório das forças de sentidos opostos, provenientes da geometria inclinada dos pórticos inferior e superior, resulta em um desequilíbrio em sua base, que se traduz pelo aparecimento de uma força resultante de tração como resultado final do processo de solução das equações de equilíbrio da estrutura.

Portanto, após o entendimento do caminho de forças que ali atuam surge, como resultado da análise estrutural, a necessidade de criação de um elemento adicional que fecha o quadro e o equilibra, mantendo-se fora do olhar do observador e confirmando-se como simplesmente lógico. Sem esse elemento o equilíbrio da estrutura estaria comprometido, o que colocaria o edifício em risco de colapso.

Por isso, cada conjunto de pórticos coplanares é equilibrado por um tirante invisível, por estar abaixo do piso do pavimento térreo, e, por isso fora da experiência visual do “jogo de forças e o arranjo correspondente das partes” a que Sekler se refere, quando caracteriza a expressão tectônica¹⁴³. Esse fato, no entanto,

¹⁴³ SEKLER, 1965. In: KEPES, 1965, p.89.

não compromete a expressão tectônica do projeto. Tanto o apoio dos pilares dos pórticos no chão como sua configuração de simetria são suficientes para comunicar uma condição de estabilidade, apesar de sua inclinação ser uma permanente provocação.

Abaixo desse chão e fora do campo visual, os dois pórticos coplanares, superior e inferior, se apoiam em placas de chumbo que servem de articulação entre a superestrutura e as fundações, constituídas por blocos de concreto sobre estacas do tipo Franki de 0,52m de diâmetro e 23,00m de profundidade. A necessidade da existência dessa placa é o ponto crucial de conexão entre o modelo abstrato idealizado para a análise estrutural e sua materialização. Os pórticos foram idealizados e configurados na análise estrutural como biarticulados e a placa de chumbo era, na ocasião, um dos artifícios utilizados para materializar essa articulação (Figura 28).

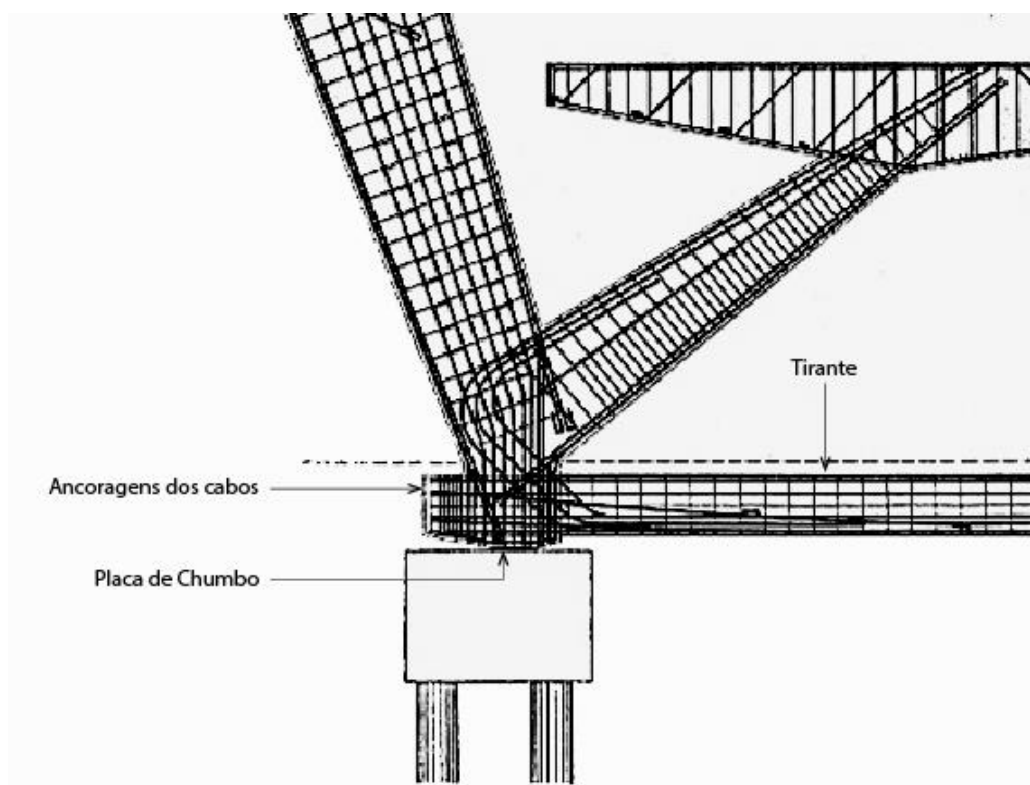


Figura 28: MAM-Rio: detalhe do posicionamento da placa de chumbo e da armação do tirante sob o piso do pavimento térreo.

Notas de aula do Professor Eduardo Thomaz – IME.

Fonte: <http://aquarius.ime.eb.br/~webde2/prof/ethomaz/mam.pdf>.

É importante lembrar que o projeto estrutural foi desenvolvido no período classificado por Kurrer como de invenção das teorias estruturais (1925 a 1950). Esse contexto justifica a escolha do modelo clássico de análise, o pórtico plano biarticulado, que articula as bases dos pórticos em suas fundações e deixa de considerar essa ligação como rígida ou elástica, consideração que atualmente fundamentaria a análise estrutural em função da evolução das teorias estruturais e dos recursos computacionais disponíveis.

Entretanto, a adoção do modelo biarticulado se mostrou bastante apropriada e, de fato, representativa da condição simbiótica entre o comportamento estrutural e o desenho do pórtico proposto por Reidy, onde o que está construído efetivamente comunica o comportamento estrutural, sendo essa uma das características que conferem autenticidade à sua expressão tectônica.

Os pilares dos pórticos, posicionados a cada 10,00m no sentido longitudinal da edificação, são equilibrados transversalmente pelos tirantes no piso do pavimento térreo e também longitudinalmente por uma viga contínua de seção transversal com largura de 0,60m e altura de 1,20m, todos elementos estruturais situados abaixo do piso do pavimento térreo, fora da vista do sujeito como apontado anteriormente (Figuras 29 e 30).

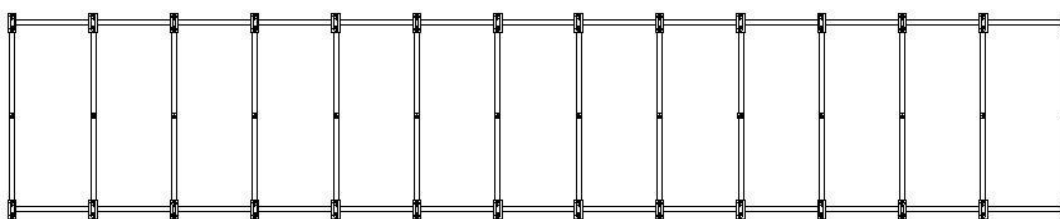


Figura 29: MAM-Rio. Desenho esquemático de fôrmas¹⁴⁴ da estrutura do piso do bloco de exposições representando os blocos sobre 2 estacas onde se apoiam os pilares periféricos, vigas longitudinais contínuas ligando todos os blocos, e tirantes (vigas solicitadas à tração) transversais com apoio central.

Fonte: a autora

¹⁴⁴ Desenhos de fôrmas, assim como desenhos de armações, são produto do projeto estrutural encaminhados para a execução da estrutura na obra e são elaborados de acordo com princípios gerais de representação em desenho técnico, que não são os mesmos adotados para a representação arquitetônica.

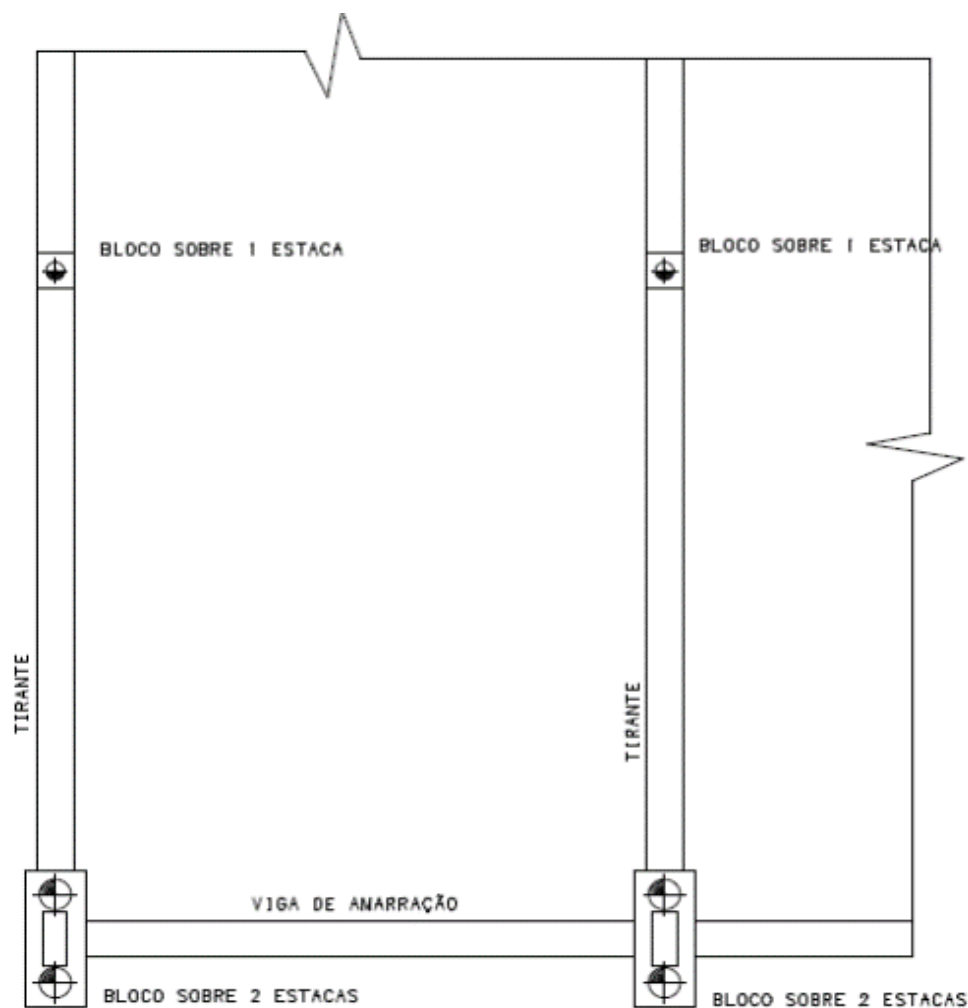


Figura 30: MAM-Rio. Detalhe ampliado de trecho da figura 28.
Fonte: a autora

Já no topo, os pórticos são solidarizados longitudinalmente por uma laje dupla nervurada com largura de 8,00m e altura variável, e também, secundariamente, pelas lajes inclinadas dos lanternins; todos são elementos promotores de rigidez do conjunto para efeitos de forças horizontais, provenientes de carregamentos como o vento, por exemplo (Figura 31).

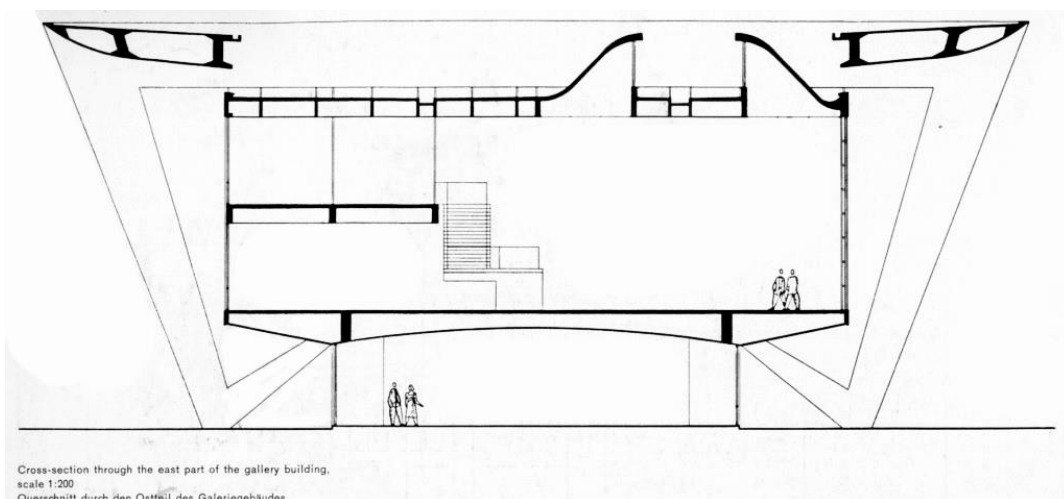


Figura 31: MAM-Rio. Corte transversal do bloco de exposições com a estrutura de concreto preenchida na cor preta.

Fonte: <https://pt.wikiarquitectura.com/constru%C3%A7%C3%A3o/museu-de-arte-moderno-do-rio-de-janeiro/#lg=1&slide=4>.

Coerente com as proposições teóricas da Arquitetura Moderna e as demandas daquela época, Reidy propôs, para o projeto do MAM-Rio, a realização de espaços socializantes. Sua proposta para a criação de um espaço com características de continuidade e permeabilidade se materializou por meio da adoção do sistema estrutural aporticado como matriz de projeto. Sistema que é apreendido visualmente por meio de uma legibilidade estrutural cuja leitura inicial, mesmo que incompleta devido à complexidade do sistema, se dá quando o sujeito se encontra do lado de fora da edificação, mas que basicamente não se altera quando é feito o atravessamento por baixo da “caixa suspensa”, em função de sua planta alongada, simetria de fachadas longitudinais e propriedades de transparência.

Frampton chama atenção para o fato de que a prioridade dada ao espaço se dá pela “reconsideração dos métodos construtivos e estruturais pelos quais, necessariamente, ele se constitui”¹⁴⁵. Possibilitando as intenções de transparência e atravessamento descritas no memorial descritivo do projeto do bloco de exposições do MAM-Rio, a implementação do conceito de forma-estrutura como matriz projetual, não só promoveu a materialização do espaço concebido por Reidy, como se tornou um dos fatores determinantes de sua expressão tectônica. Expressão que pode se manifestar por meio da legibilidade estrutural ao se configurar em experiência empática provocada pelo formato inclinado dos pórticos e do incomum caminho de forças que escamoteia suas condições de equilíbrio.

¹⁴⁵ FRAMPTON, 1995, p. 2.

3.1.3

Materialidade estrutural

A construção em concreto armado é capaz de produzir edificações sem “partes”, e essa característica de monoliticidade se transformou, na primeira metade do século XX, segundo Forty, na representação de sua modernidade¹⁴⁶.

A monoliticidade é uma propriedade característica e definidora de singularidade para o concreto armado como material de construção. Monolítica, como metáfora de uma arquitetura da pedra única, sem junções, a edificação de concreto possui elementos que se unem por meio de moldagem do material recém misturado, ainda fresco e viscoso. Após o processo de endurecimento os pontos de ligação entre esses elementos, que podem estar em planos diferentes e ter formatos variados, não apresentam juntas de ligação, caracterizando assim a monoliticidade.

A complexidade envolvida na materialidade do concreto, em função de suas diversas formas de fabricação e controle tecnológico, pode se refletir em sua materialidade e, quando o material é utilizado *in natura* nos projetos de arquitetura, pode comunicar visualmente a existência de uma técnica, pela associação do material com suas propriedades estruturais¹⁴⁷.

A expressão tectônica, no entanto, pode se manifestar de maneiras diferentes pela utilização do concreto aparente. Projetos nos quais é possível verificar a implementação do conceito forma-estrutura e que são materializados em concreto aparente comunicam, primeiramente, a existência de uma estrutura portante.

Conforme Sekler, essa comunicação se dá pela realização, por meio da construção, do conceito intangível de estrutura, ao qual é dado “expressão visual através da tectônica”¹⁴⁸. Adicionalmente, essa materialidade também pode comunicar um processo construtivo e o trabalho a ele vinculado, além de servir de testemunha de um estágio de desenvolvimento tecnológico, um “saber fazer” que agrega valor epistêmico¹⁴⁹ ao processo pela exposição da técnica que, associada à

¹⁴⁶ FORTY, 2013, p. 34.

¹⁴⁷ A propriedade da monoliticidade foi utilizada como intenção em alguns projetos da Arquitetura Moderna, principalmente a partir da construção das Unidades de Habitação em Marselha, entre 1947 e 1953, projeto de Le Corbusier.

¹⁴⁸ SEKLER, 1965. In: KEPES, 1965, p. 92.

¹⁴⁹ FRAMPTON, 1995, p. 23.

comunicação da existência de uma estrutura portante, aumenta o potencial de expressão tectônica do projeto.

De fato, a exposição da técnica passou a adquirir relevância no processo criativo de Reidy, a partir de sua pesquisa por uma ordem construtiva que se refletiu na evolução de sua arquitetura. Ao analisar o projeto do Pedregulho, Kamita se refere à “presença determinante da técnica” que “atenua, em certa medida, o primado da plástica”, e ao fato de que “com o tempo, Reidy tende a ressaltar de modo mais e mais veemente a materialidade de suas construções, sobretudo pela exposição das qualidades intrínsecas dos materiais de construção¹⁵⁰.

Ao conceber o projeto do MAM-Rio, Reidy queria tirar partido das propriedades plásticas do concreto, mesmo que no Brasil isso fosse uma novidade e suscitasse algumas críticas. Em 1998, Carmem Portinho relatou que:

Houve críticas ao Reidy na própria diretoria do MAM, quanto ao acabamento do prédio. Para eles, uma obra imponente e dispendiosa como o museu merecia, segundo afirmavam, acabamento mais adequado à sua importância, como pintar todos os pórticos, sem perceberem que o concreto aparente é nobre e estava aparecendo nas construções em todo o mundo¹⁵¹.

Naquela ocasião Reidy se viu frente a um problema similar ao enfrentado por Perret no início do século XX, quando tentava categorizar o concreto aparente como material nobre. De fato, segundo Konder Neto, o MAM-Rio, inaugurado em 1967¹⁵², e o Monumento aos Mortos da II Guerra Mundial, inaugurado em 1960, foram os primeiros edifícios executados em concreto aparente no Rio de Janeiro¹⁵³.

Para que se possa compreender a importância e os problemas que envolvem a escolha do concreto aparente como materialidade arquitetônica, torna-se necessário aqui fazer uma análise das implicações técnicas inerentes à fabricação do material e como se dá sua monoliticidade.

As estruturas de concreto armado se tornam monolíticas pela solidarização de seus elementos, que é promovida pelas armações de aço entrelaçadas

¹⁵⁰ KAMITA, 1994, p. 108 et seq.

¹⁵¹ PORTINHO, 1998. In: BONDUKI, 1999, p. 178.

¹⁵² O projeto foi elaborado em 1953, mas a obra só foi inaugurada em 1967.

¹⁵³ NETO, 1994.

internamente e posicionadas nas fôrmas¹⁵⁴ antes do lançamento do concreto fresco, conforme abordado no capítulo 2 dessa dissertação.

De um modo geral, as armações das peças de concreto armado não fazem parte de áreas de interesse alheias à Engenharia Estrutural. Uma vez concretadas, as estruturas tornadas monolíticas escondem o que poderia ser considerada sua alma. Todo o detalhe de dobraduras e enlaces, garantidores da condição de monoliticidade, fica indelevelmente oculto sem que se possa perceber a relevância de sua existência, traduzida em preciosismo e minúcias nos desenhos de sua representação.

A materialidade estrutural do concreto aparente é um complicador técnico que os arquitetos, em meados do século XX, estavam apenas começando a enfrentar na ocasião em que passaram a utilizá-lo em seus projetos. Às questões éticas e estéticas, que se manifestarão por meio da tectônica, é preciso também acrescentar os aspectos técnicos envolvidos em sua produção.

O projeto estrutural do MAM-Rio é paradigmático no que diz respeito ao enfrentamento desse problema pelo refinamento de detalhes de armação que, por último, junto com a qualidade da mistura dos materiais que o compõem, são os verdadeiros responsáveis pelo bom desempenho quanto à durabilidade do concreto aparente daquela edificação.

No projeto estrutural, os pontos problemáticos, como os cantos dos pórticos, receberam uma atenção especial para evitar a concentração de tensões, por meio de uma dobradura em curva, cuidadosamente traçada em projeto e executada na obra, enquanto as armações longitudinais das vigas, além de resistirem aos esforços de tração provenientes dos momentos fletores, são dobradas em ângulos de 45° para o combate às tensões de cisalhamento, como era usual naquela época, evitando o uso excessivo de estribos.

Há no projeto um desenho de representação dos detalhes de armação do pórtico que o mostra em sua totalidade, exibindo simultaneamente as armações de vigas e pilares, demonstrando a atenção ao conjunto e facilitando a leitura e entendimento de seu funcionamento pelas equipes de obra¹⁵⁵.

¹⁵⁴ Moldes que podem ser executados em madeira ou aço. No período em que foi construído MAM-Rio as fôrmas eram executadas em madeira, com a utilização de tábuas de pinho de 30 cm de largura.

¹⁵⁵ Esse preciosismo permitia antecipar possíveis incompatibilidades geradas pelo posicionamento inadequado das armações na obra, que, por sua vez, poderiam gerar “ninhos” de aço prejudiciais à

Voltando à consideração de que a materialização da estrutura depende da elaboração de um modelo de análise adequado, da precisão dessa análise e da boa execução da construção a partir da representação projetual, é interessante notar o espelhamento da representação das armações detalhadas nos desenhos de projeto e sua materialização na obra (Figuras 32 e 33).

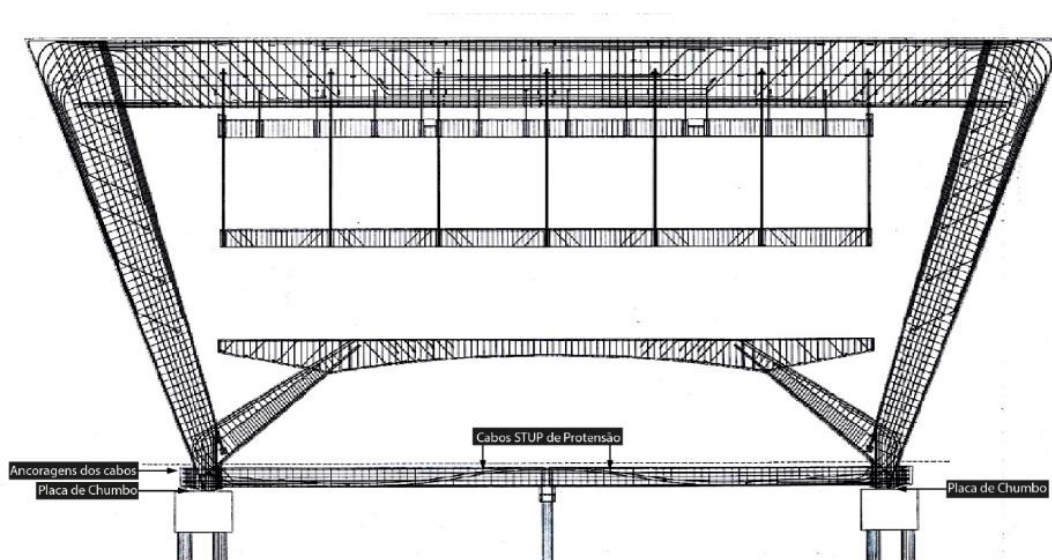


Figura 32: MAM-Rio. Detalhe de armação em corte transversal dos pórticos coplanares.

Notas de aula do Professor Eduardo Thomaz – IME.

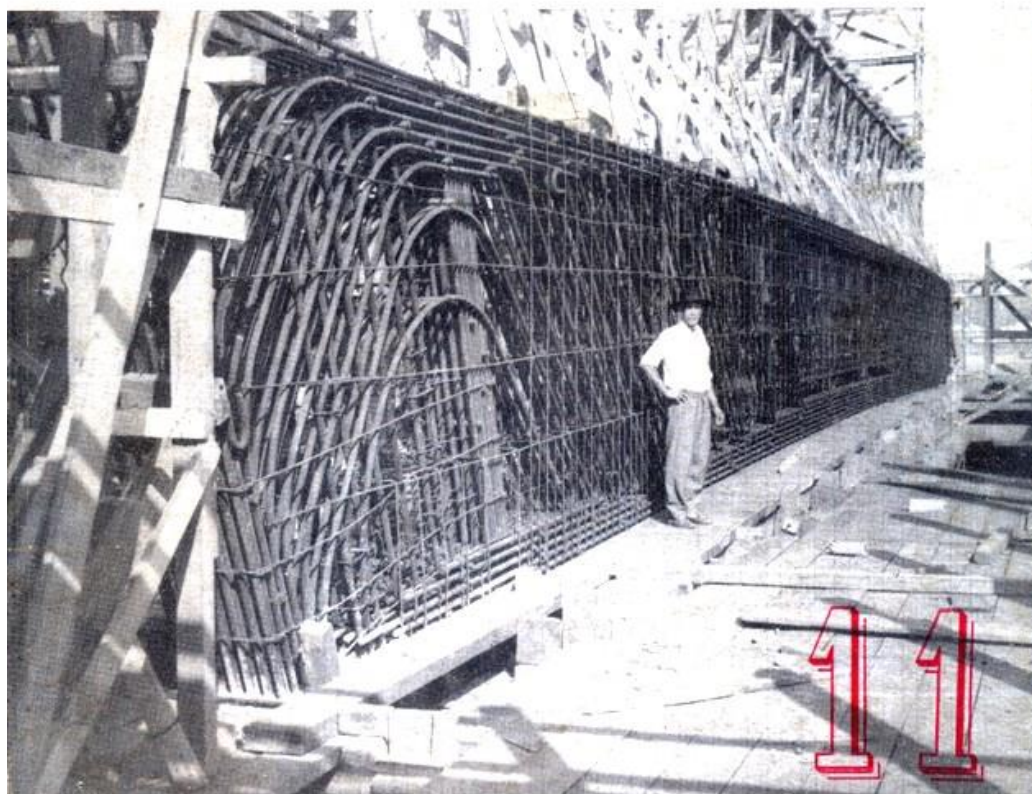
Fonte: <http://aquarius.ime.eb.br/~webde2/prof/ethomaz/mam.pdf>.

completa penetração do concreto fresco por ocasião de seu lançamento. Providência que deixava poucas oportunidades para improvisações no canteiro, garantindo a aproximação entre o modelo idealizado na análise e a estrutura efetivamente construída. O aço utilizado nas armações da estrutura foi do tipo CA 40 T, de barras lisas torcidas a frio e tensão de escoamento de 4000 kgf/cm², o maior diâmetro utilizado foi de 1.1/4", e o recobrimento das armaduras foi estabelecido em 2,0cm. A questão do recobrimento em estruturas de concreto aparente é um ponto crítico em debate até os dias atuais, por ser uma das garantias de proteção do aço contra os efeitos da corrosão.

ESTRUTURA

REVISTA TÉCNICA

DAS CONSTRUÇÕES



1958

Figura 33: MAM-Rio. Capa da revista Estrutura de 1958: detalhe de armação da viga do pórtico superior.

Notas de aula do Professor Eduardo Thomaz – IME.

Fonte: <http://aquarius.ime.eb.br/~webde2/prof/ethomaz/mam.pdf>.

O preciosismo desse detalhamento se justifica, uma vez que o concreto armado só se configura como material compósito pela perfeita aderência entre as barras de aço e o concreto que as deve envolver. Para que isto aconteça o concreto precisa preencher todos os espaços vazios existentes entre as barras de aço e com

isso garantir a monoliticidade. Contido pelas fôrmas de madeira que garantirão não somente o aspecto final da peça como o recobrimento externo das armações, o concreto fresco deverá ser capaz de penetrar homogeneamente todos os vazios existentes naquele invólucro¹⁵⁶.

Mas para Reidy, a qualidade do concreto no projeto do MAM-Rio não estaria apenas ligada às suas propriedades de resistência à compressão e à trabalhabilidade do material na obra. O concreto armado seria utilizado não só como material estrutural mas também com ênfase plástica na propriedade que lhe confere as características de certa modernidade, ou seja, sua monoliticidade e materialidade bruta, *in natura*.

O concreto aparente como provedor de materialidade é um material repleto de complexidades. Forty aponta para o paradoxo de um material que, apesar de moderno, está ligado às práticas manuais de construção desde tempos remotos, criando uma “tensão, entre um produto da tecnologia científica, cujo uso reside na aplicação de um conjunto de princípios desenvolvidos teoricamente, e algo enraizado nas práticas de trabalhos manuais mais básicas”¹⁵⁷.

Consequentemente, o controle estético sobre este material inclui não somente o controle sobre os aspectos manuais de sua fabricação, como o posicionamento das fôrmas, por exemplo, mas também conhecimentos de suas propriedades físico-químicas. Além da formulação do traço e do adequado detalhamento das armações, procedimentos executivos como a cura do concreto, o planejamento e tratamento das juntas de concretagem e a eficiência do escoramento, influirão em seu aspecto final. As pioneiras obras em concreto aparente serviram como testemunhas a essa constatação.

No caso da escolha da materialidade do sistema estrutural do projeto do bloco de exposições do MAM-Rio são possíveis várias associações para compreender as escolhas projetuais de Reidy. O concreto aparente além de evidenciar a estrutura portante, se encontrava também, como afirmou Carmen Portinho, em sintonia com aquela contemporaneidade por “estar aparecendo nas

¹⁵⁶ O concreto foi utilizado neste projeto com propriedades muito especiais. Não era simplesmente o concreto armado utilizado nas estruturas regulares até então, cuja resistência média à compressão não ultrapassaria os 150 kgf/cm², usuais para a época. Na realidade o concreto especificado para a execução da estrutura foi dosado para atingir extraordinários 400kgf/cm² de resistência média à compressão.

¹⁵⁷ FORTY, 2013, p. 15.

construções em todo o mundo¹⁵⁸. Reidy, confirmando a proposição de Sekler de que o arquiteto é o “mestre inquestionável da expressão tectônica”¹⁵⁹, procurou realizar a materialidade do concreto aparente com esmero e rigor extremos, mantendo o controle criterioso que orientou todas as fases do projeto. No que diz respeito à materialidade, esse controle se traduziu no exato posicionamento das fôrmas que gerariam sua marcação na superfície dos elementos estruturais, conforme descrito por Nobre:

Para atingir a perfeição no acabamento em concreto aparente – material que não admite revestimentos nem regularização da superfície após a execução – empregou-se o melhor material disponível no mercado. Sem economias. As tábuas de pinho de primeira qualidade foram cortadas com 28cm (em vez dos 30cm usuais), aparelhadas e montadas com encaixe macho e fêmea, em lances de 2,80m de altura¹⁶⁰.

Assim como Artigas, no projeto da FAU-USP, como será visto adiante, Reidy conhecia a potência dessa metodologia construtiva enquanto instrumento de comunicação. Uma das características expressivas que resultam da marcação das fôrmas no concreto aparente moldado *in loco* é a comunicação da existência um elemento adicional que, segundo Forty¹⁶¹, também faz parte da composição do material: o trabalho humano.

Reidy parece querer controlar a matéria bruta do concreto pelo rigor no posicionamento das fôrmas em consonância com a precisão de seu desenho para o projeto, enfatizando um refinamento construtivo próximo dos princípios miesianos¹⁶², por sua regularidade e sobriedade. Porém, independentemente das intenções de Reidy, as marcas, por mais bem executadas que tenham sido, longe de enfatizar um rigor que afastaria o processo de sua natureza artesanal, comunicam a presença da mão de obra utilizada na construção e, por isso, intensificam ainda mais a expressão tectônica, pela ênfase em aspectos do processo construtivo do bloco de exposições do MAM-Rio,

O propósito de Reidy de controlar o posicionamento e marcação das fôrmas foi atingido em praticamente toda a extensão dos pórticos, onde se vê claramente o exercício desse controle. Por motivos provavelmente alheios à sua vontade, e que

¹⁵⁸ PORTINHO, 1998 apud BONDUKI, 1999, p. 178.

¹⁵⁹ SEKLER, 1965. In: KEPES, 1965, p.94.

¹⁶⁰ NOBRE, 1999, p. 86.

¹⁶¹ FORTY, 2013, p. 225 et seq.

¹⁶² KAMITA, 1994, p. 139.

talvez possam ser justificados pela tecnologia disponibilizada na época da construção, as juntas de concretagem nos pilares inclinados do pórtico inferior são exceção à regra e apontam para este ponto crítico das obras em concreto aparente¹⁶³. O material, mesmo que esteja submetido a controle rigoroso, pode se apresentar de maneira imprevista após a execução. Como consequência, a impressão da junta de concretagem na superfície dos pilares restou como testemunha do processo construtivo, enfatizando ainda mais seu caráter artesanal e a respectiva marca da presença humana que, conforme mencionado, é também um dos componentes do concreto (Figura 34).



Figura 34: MAM-Rio. Marcação das juntas de concretagem.
Notas de aula do Professor Eduardo Thomaz – IME.
Fonte: <http://aquarius.ime.eb.br/~webde2/prof/ethomaz/mam.pdf>.

¹⁶³ Problema que atualmente é bastante amenizado, se não completamente resolvido, pela tecnologia da indústria química de aditivos para concreto.

Segundo Kamita, Reidy exercia “um controle absoluto da forma arquitetônica” e isso evidenciaria um “esforço para atribuir racionalidade a cada ato da existência”¹⁶⁴. Além disso, no contexto do Brasil da década de 1950, o rigor da estética de Reidy parecia enviar ao mundo uma mensagem que comunicava a potência da racionalidade como possível solução para a precariedade do país.

Para Sekler, através da tectônica o arquiteto pode “fazer visível aquele tipo intensificado de experiência da realidade que está no domínio do artista”¹⁶⁵. Reidy imprimiu ao MAM-Rio essa expressão tectônica, que Frampton também associa à arte quando afirma que “na medida em que a tectônica equivale a uma poética da construção ela é arte, mas nesse sentido a dimensão artística não é nem figurativa nem abstrata”¹⁶⁶.

A dimensão artística a que Frampton se refere emerge da materialização da ideia pela construção e, no caso, na potência da implementação do conceito forma-estrutura como matriz da expressão tectônica que impregna o Museu de Arte Moderna do Rio de Janeiro.

¹⁶⁴ KAMITA, 1994, p. 167.

¹⁶⁵ SEKLER, 1965. In: Kepe, 1965, p. 92.

¹⁶⁶ FRAMPTON, 1995, p. 2.

3.2

FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO (FAU-USP)

Projeto: 1960-1962 / 1965-1966

Construção: 1966-1969

Projeto de Arquitetura: João Batista Vilanova Artigas e Arq. Carlos Cascaldi

Projeto Estrutural: Escritório Técnico Figueiredo Ferraz, José Lourenço de Almeida Castanho

A estrutura, para o arquiteto, não deve desempenhar o papel humilde de esqueleto, mas exprimir a graça com que os novos materiais permitem dominar as formas cósmicas, com elegância de vãos maiores, de formas leves¹⁶⁷.

Vilanova Artigas

O projeto da FAU-USP foi uma missão: “Uma arquitetura para representar a própria arquitetura no conjunto da universidade”¹⁶⁸, além de possibilitar, pela vivência em seu espaço, a renovação pedagógica de todo o Curso de Arquitetura e Urbanismo, coerente com o pensamento do grupo de arquitetos liderado por Artigas. O edifício, nas palavras do arquiteto, seria um templo onde se realizaria a democracia e a livre circulação de pessoas e ideias, aberto a todos.

Templo é realmente a palavra definidora daquela espacialidade, onde um peristilo encimado por um entablamento que rodeia a construção informa ao sujeito que este se encontra, antes de mais nada, diante de algo imponente. Acessível a todos e qualquer um, francamente aberto e penetrável, o edifício está, porém, à espera de um público específico composto de mestres e discípulos a cumprir ali seus rituais. Em um momento de exacerbação poética Artigas diz: “Na FAU só entram deuses”¹⁶⁹.

¹⁶⁷ ARTIGAS, 1961. In: FERRAZ, 1997, p. 101.

¹⁶⁸ CONTIER, 2015, p. 256.

¹⁶⁹ ARTIGAS, 1978. In: MARKUN; ROZEINBLIT, 2014.

Rituais pedagógicos, experimentais, burocráticos, catárticos e tudo o mais que o espaço puder acolher, poderiam acontecer simultaneamente naquele espaço de meias paredes, rampas ininterruptas, vazios, ruído e concreto. O espaço criado por Artigas e Cascaldi subverteu o entendimento convencional do ambiente escolar, e não há como essa “insubordinação” aos cânones tradicionais deixar de se refletir nos processos de aprendizado que se dão naquele lugar. O corpo social é a prioridade, a compreensão do todo espacial permitida pela transparência interna é imediata e, naquele espaço, o discurso de Artigas se impõe.

Tal discurso promoveu, entre outros, um debate sobre a socialização dos espaços, sobre a industrialização do país e seu reflexo no desenvolvimento das tecnologias do concreto armado na ocasião, além de comunicar otimismo e confiança naquela indústria. Incluindo, é claro, uma reflexão sobre a arquitetura, o ensino de arquitetura e o papel do arquiteto na sociedade.

O templo de Artigas se implanta no espaço da Cidade Universitária acentuando contrastes logo apreendidos visualmente, à distância, entre peso e leveza, e também entre a tecnologia e o arcaico, como observado por Forty:

Artigas e seu engenheiro enfrentaram um grande problema para criar o efeito de tanto sendo sustentado por tão pouco. O que eu acho notável neste edifício é o contraste entre, por um lado, a extrema elegância e sofisticação da engenharia estrutural, e por outro a rudeza de sua execução, porque o concreto propriamente dito parece bruto e empobrecido, o produto do atraso [...] É relativamente raro achar uma obra que, como a FAU, seja simultaneamente primitiva e tecnologicamente sofisticada¹⁷⁰.

A face externa do entablamento sem ornamentos, apenas um único sol, símbolo da FAU-USP, comunica uma materialidade artesanal em oposição à materialidade de caráter industrial do interior do edifício. Externamente está o trabalho manual de marcação das fôrmas executadas com tábuas de madeira, em um concreto que se mostra áspero e rudimentar. Internamente está o concreto liso, executado com fôrmas de painéis de compensado de madeira, remetendo aos acabamentos industrializados, como o piso liso e brilhante do pátio central, conhecido como Salão Caramelo, devido à cor da cobertura epóxi utilizada na sua finalização (Figura 35).

¹⁷⁰ FORTY, 2013, p. 126.



Figura 35: FAU-USP. João Batista Vilanova Artigas. Fachada.

Fonte: <https://i.pinimg.com/originals/c4/5b/7b/c45b7b7958e8680c25b110ef14bf81e5.jpg>.

Externamente o entablamento parece uma caixa pesada e maciça, que, após a entrada no edifício, se revela ao sujeito como um invólucro esbelto, contendo o espaço, onde, por sua vez, se inserem edifícios dentro do edifício¹⁷¹. Os pilares que sustentam essa caixa extrapolam sua função portante para se mostrarem também como esculturas prismáticas, servindo de testemunhas ao ritual da entrada.

O movimento então se torna contínuo, conduzido por rampas largas que sobem, a cada 1,90m de altura, aos níveis alternados superiores onde estão o museu, a biblioteca, os departamentos, os estúdios, os ateliês e as salas de aula. A “caixa” é então fechada no topo por uma imensa cobertura em grelha plana, de domos tronco-piramidais, cujos vazios são cobertos por placas translúcidas proporcionando iluminação zenital.

A ocupação periférica interna da caixa origina um pátio central com um pé direito de 13,00m, coberto unicamente pela grelha translúcida, que distribui iluminação natural a praticamente todos os ambientes da escola (Figura 36).

¹⁷¹ BAROSS, 2016, p. 31.

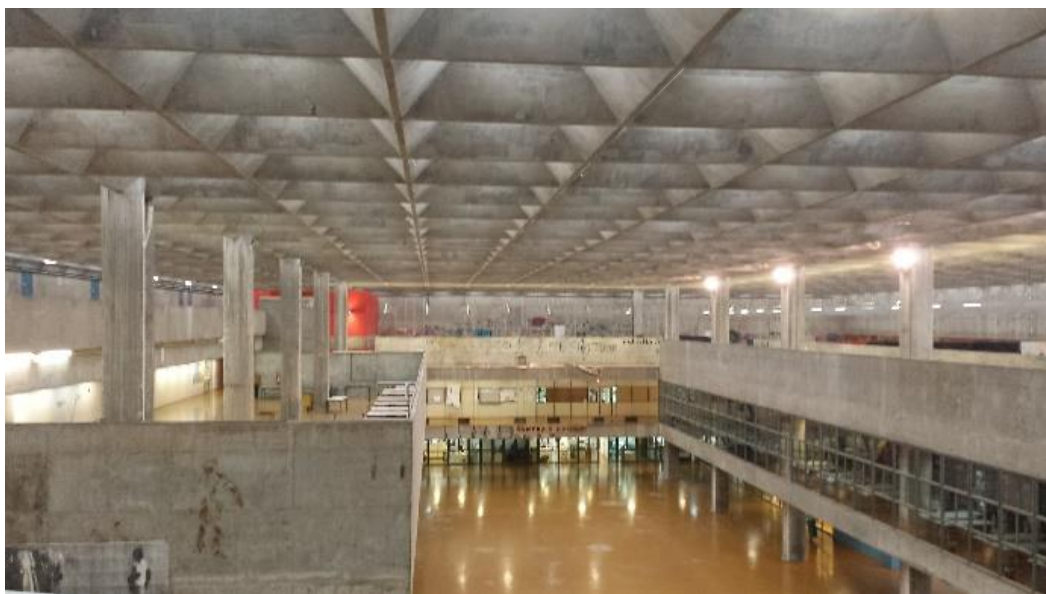


Figura 36: FAU-USP. Pátio central (salão caramelo).

Fonte: a autora

Assim como no MAM-Rio, nada é casual nesse edifício. Como resposta às necessidades do projeto, que deveriam se traduzir em: continuidade interior/exterior, pátios ou jardins internos, corredores e rampas generosas, muitas vezes perimetrais e formando varandas, além de iluminação zenital e predominância de materiais construtivos aparentes¹⁷², cada detalhe foi pensado de maneira engenhosa e criteriosa, desde a iluminação zenital até os caixilhos e mobiliário, passando obviamente pelo sistema estrutural que permitiu sua materialização.

3.2.1

Imposição da forma

Ao descrever o projeto da FAU-USP, além de mencionar a estrutura que não deveria “assumir o papel humilde de esqueleto”¹⁷³, Artigas faz referência a um aspecto que interessa particularmente a essa análise: “A sensação de generosidade

¹⁷² CONTIER, 2015, p. 255.

¹⁷³ ARTIGAS, 1961. In: FERRAZ, 1997, p. 101.

espacial que sua estrutura permite, aumenta o grau de convivência, de encontros, de comunicação”¹⁷⁴.

Artigas volta a mencionar a estrutura, porém, o que chama atenção aqui é a qualificação de uma estrutura que “permite a sensação de generosidade espacial”. Essa consideração já denota uma intenção de associação entre a estrutura portante e a estrutura espacial, estratégia que caracterizaria a implementação do conceito forma-estrutura como matriz projetual. A materialização do projeto proveniente dessa matriz, permitiria a distribuição do programa em espaços socializantes, intercomunicantes e articulados, onde, segundo o arquiteto, “todas as atividades são lícitas”¹⁷⁵, além de promover a “formação do sujeito na escola”¹⁷⁶.

Segundo Wisnik, a fase da carreira de Artigas em que se deu o projeto da FAU-USP, é marcada por uma atitude de desencanto com o idealismo utópico moderno e se caracteriza por uma concepção formal ancorada em “um campo de tensões, um arcabouço de relações materiais em permanente conflito”¹⁷⁷.

Essa arquitetura acaba fundamentando sua pesquisa formal na busca por uma autonomia com relação à arquitetura praticada fora do Brasil, mais especificamente na Inglaterra onde, como solução para os problemas advindos da II Guerra Mundial surgiu, segundo o crítico Reyner Banham a partir do ensaio *The New Brutalism*¹⁷⁸, escrito em 1955, o que seria denominado o Novo Brutalismo.

Assim, de acordo com Wisnik, o projeto de Artigas entra em uma nova fase de “forte entronização da crítica dialética na forma construída, fazendo com que esta deixe de ser entendida como volume geométrico abstrato para ser pensada como estrutura”¹⁷⁹. Ainda segundo Wisnik, o termo estrutura aqui abarca o sentido amplo da palavra que englobaria tanto os vetores de circulação de pessoas e energias, mecânica, elétrica e hidráulica, como os vetores de forças associadas à materialização pela construção, a estrutura portante.

A partir dessa lógica holística, Artigas associa em uma única essência a estrutura espacial e a estrutura portante de modo que uma não existiria sem a outra, como pode ser constatado pela própria evolução do projeto da FAU-USP.

¹⁷⁴ ARTIGAS, 1961. In: FERRAZ, 1997, p. 101.

¹⁷⁵ Ibid., p.101.

¹⁷⁶ PERRONE, 2016, p. 171.

¹⁷⁷ WISNIK, 2015, p. 162.

¹⁷⁸ BANHAM, 1955.

¹⁷⁹ WISNIK, op. cit., p. 163.

Os primeiros esboços para o projeto, elaborados no início do ano de 1960, já mostravam a concepção de uma grande caixa de concreto aparente, suspensa acima de rampas de circulação, apoiada em pilares periféricos e espaçados, distribuídos em uma planta quadrada. Desde o início a monumentalidade era determinante e o entablamento já mostrava sua imponência. Essa primeira intenção já traz embutida uma expressividade tectônica pela escolha do concreto aparente para a materialidade do projeto, condição material que, por si só, implica uma associação com a técnica.

O desenho também revela algumas características da Escola Paulista, que Telles descreve como uma:

filiação aos projetos corbusianos quanto à ortogonalidade e ao uso de empenas estruturais que são típicas da referência mediterrânea de Le Corbusier, dentro da tradição mais ampla do projeto quanto à verdade dos materiais e às estruturas aparentes¹⁸⁰.

As proposições apontadas por Telles aparecem claramente no croquis de Artigas que condensava, em poucas linhas, algumas diretrizes norteadoras do projeto em suas fases subsequentes (Figura 37).

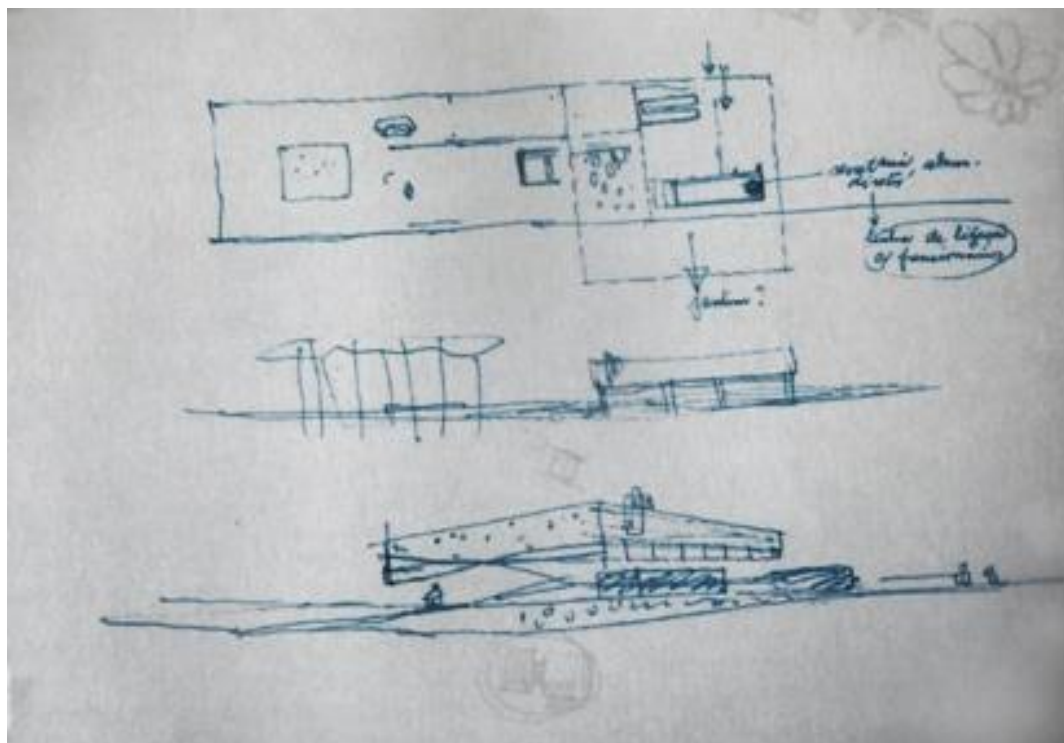


Figura 37: FAU-USP. Croquis de João Batista Vilanova Artigas.
Fonte: ARTIGAS, 1998, p.59.

¹⁸⁰ TELLES, 1992. In: GUERRA, 2010, p. 254.

Em outros esboços é possível observar a aplicação do conceito da forma-estrutura como matriz de projeto, pela explicitação de uma cobertura em grelha, elemento com propriedades estruturais intrínsecas, apoiada nas vigas do entablamento, e também pelo início de uma investigação de formato específico para os pilares, que passam a apresentar uma seção variável, ampliando a expressão tectônica do conjunto (Figuras 38 e 39).

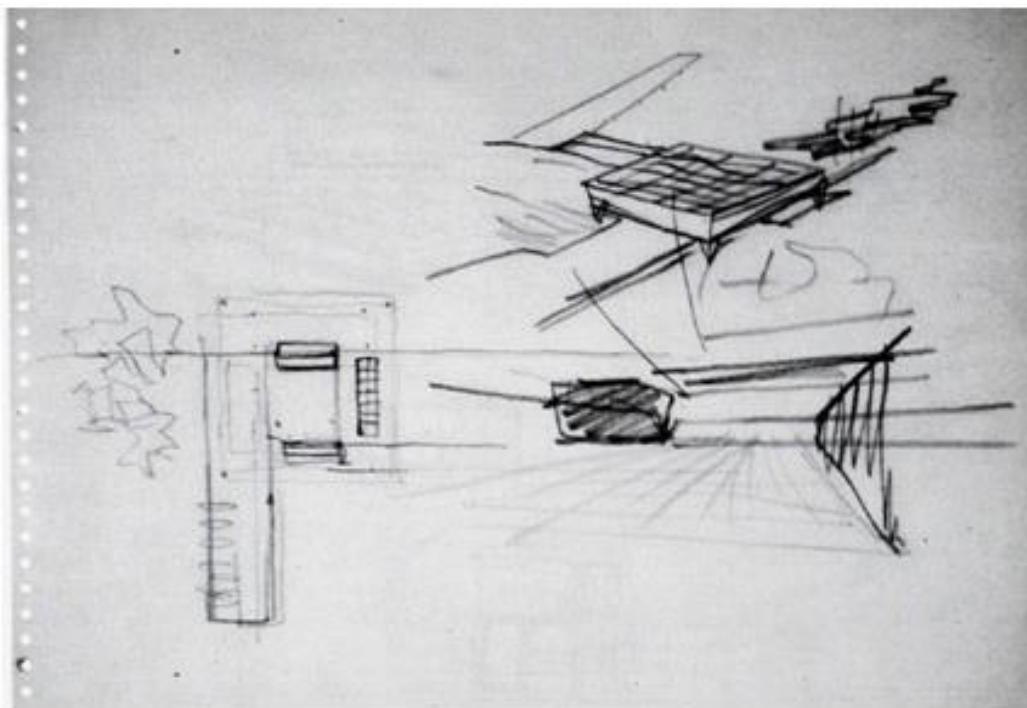


Figura 38: FAU-USP. Croquis de João Batista Vilanova Artigas.
Fonte: ARTIGAS, 1998, p. 73.

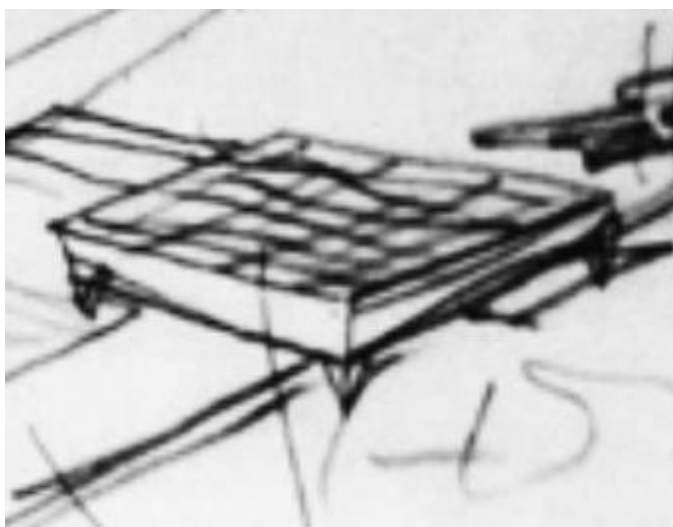


Figura 39: FAU-USP. Croquis de João Batista Vilanova Artigas.
Detalhe ampliado para visualização de pilares e grelha da cobertura.
Fonte: ARTIGAS, 1998, p. 73.

Em uma outra investigação, ainda sobre a planta quadrada, Artigas especulou, no mesmo croquis, manter os pilares nas extremidades da caixa, inclinar os quatro pilares e as bordas do edifício ou então recuar os quatro pilares para o centro do edifício, deixando as extremidades em balanço (Figura 40).

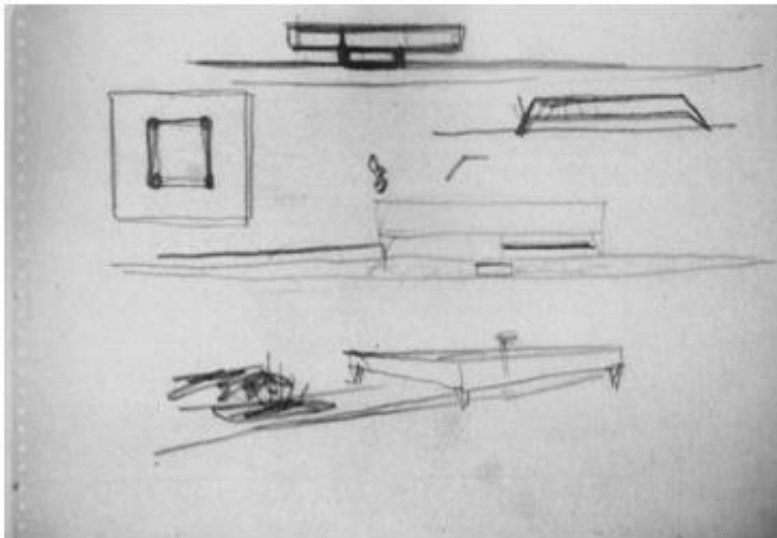


Figura 40: FAU-USP. Croquis de João Batista Vilanova Artigas.
Fonte: ARTIGAS, 1998, p. 75.

Após algumas variações Artigas chegou até a especular a criação de pórticos, cujo formato se assemelha ao dos pórticos do MAM-Rio (Figura 41). É possível reparar, no desenvolvimento dos croquis, que durante o processo de concepção arquitetônica o conceito da forma-estrutura está sempre presente.

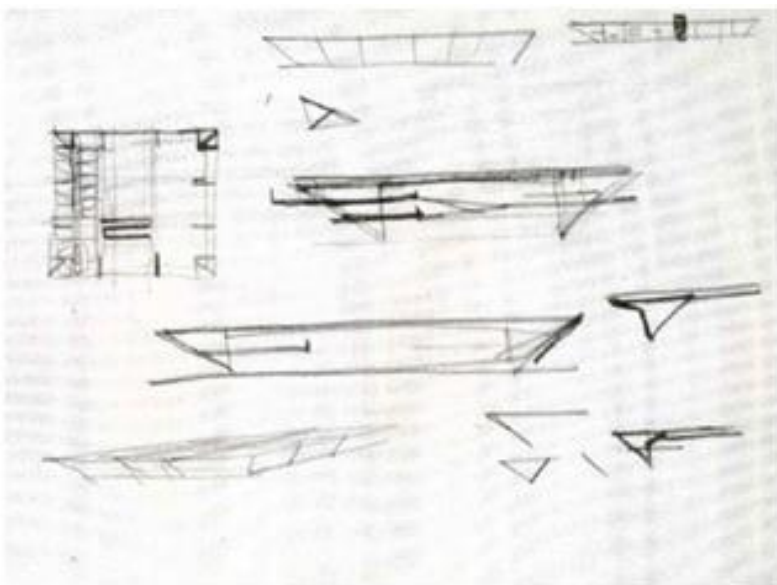


Figura 41: FAU-USP. Croquis de João Batista Vilanova Artigas.
Fonte: CONTIER, 2015, p. 260.

O que se vê durante a evolução dos croquis é o desenvolvimento de uma proposta em que a forma surge vinculada à estrutura portante, expressando-se monumentalmente por meio de sua materialidade e dimensões, além de possibilitar a criação de um espaço interno vinculado a uma modulação específica fundamentada na racionalidade.

Finalmente Artigas evoluiu para uma planta retangular e, em seu último croquis chegou ao que, muito proximamente, se transformaria no projeto final. É possível observar, em planta baixa, o posicionamento lateral das rampas, o pátio central e a ocupação periférica, bem como uma certa modulação de pilares.

Na representação em perspectiva é possível observar as relações de proporção garantidoras da monumentalidade bem como a distribuição dos pilares de seções variáveis da fachada, mantendo os quatro cantos do entablamento em balanço (Figura 42).

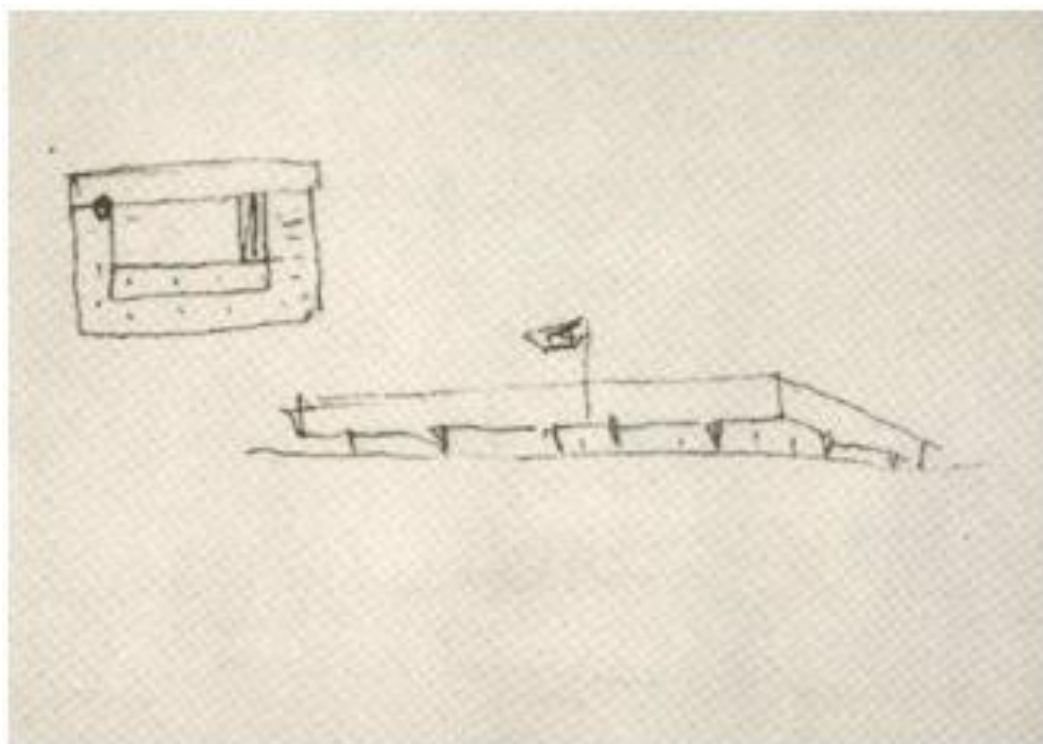


Figura 42: FAU-USP. Croquis de João Batista Vilanova Artigas.
Fonte: CONTIER, 2015, p. 264.

A expressão tectônica que, “como uma manifestação particular de empatia na arquitetura”¹⁸¹, resulta dessas decisões, se revelaria ao sujeito por meio de uma

¹⁸¹ SEKLER, 1965. In: KEPES, 1965, p.91.

experiência sensível a se dar em um espaço onde a relação entre a arte e a técnica provocaria a “sensibilidade governada pela razão”¹⁸², que Telles elucida quando fala de uma “operação moderna”¹⁸³:

Se a vida será reafirmada como experiência sensível, deve ao mesmo tempo tornar-se clara e ordenada, efetivamente racional. Sensibilidade governada pela razão. A forma, enquanto percepção imediatamente sensível, será ao mesmo tempo a razão em ato¹⁸⁴.

A razão em ato estará presente em todo o processo de desenvolvimento do projeto, desde a fase de estudo preliminar até sua conclusão. Estabelecendo uma modulação estrutural de 11,00m que – é importante frisar – para o concreto armado é uma modulação bastante ousada, em função das características do material quanto à deformabilidade, Artigas condiciona o projeto a um tipo de solução estrutural específica, capaz de resistir aos esforços solicitantes e oferecer rigidez às possíveis deformações resultantes da escolha dessa modulação. Segundo Contier, a escolha da modulação pode ter sido influenciada pelas dimensões das placas das chapas de compensado que seriam utilizadas na confecção das fôrmas da estrutura de concreto, cujas medidas eram padronizadas em 110x220 cm¹⁸⁵, decisão que enfatizaria ainda mais certa racionalidade do projeto.

Distribuindo a modulação em uma grade de eixos perpendiculares entre si, configurando com esse gesto toda uma racionalidade projetual, Artigas reafirmava o conceito corbusiano de “uma independência funcional e formal entre vedação e estrutura que possibilita, pela construção em esqueleto, a planta livre”¹⁸⁶. Essa liberdade se traduziu na distribuição do programa, pois uma vez independentes da estrutura de suporte, pisos e vedações conformariam os espaços projetados em uma configuração de planos verticais descontínuos de fachadas internas, pela execução de balanços, recuos e vazios, agregando singularidades aos espaços, mas mantendo entre eles uma lógica construtiva comum. Essa lógica permitiu que no interior delimitado pela rigidez cartesiana dos quatro pórticos do entablamento, que se

¹⁸² TELLES, 1983. In: GUERRA, 2010, p. 24.

¹⁸³ Ibid., p. 23.

¹⁸⁴ Ibid., p. 24.

¹⁸⁵ CONTIER, 2013, p. 13.

¹⁸⁶ COMAS, 1994, p. 58.

encontram perpendicularmente e formam uma caixa, os espaços pudessem ser organizados de maneira fluida e flexível.

Ao firmar estas decisões projetuais, Artigas estabeleceu uma espacialidade específica para o projeto e, vinculada a ela, todo um sistema estrutural que a tornaria possível. Estratégia também adotada por Reidy ao propor a modulação de implantação dos pórticos do MAM-Rio.

Em uma entrevista realizada em 1978, Artigas descreveu como se deu a depuração da forma arquitetônica do projeto da FAU-USP:

Tinha de ser um prédio sem a menor concessão a nenhum barroquismo, que tivesse insinuações de uma extrema finura, para dizer que partia de um bloco inerte. O resto, de uma tremenda simplicidade, compreensível para qualquer um. Que não tivesse nenhuma loquacidade, nenhuma veemência no discurso, nenhuma concessão barroca, nada.

Uma espécie de quem procura a verdade pura, absolutamente pura. Certo que não consegui. Sabe que isso aí seria o fim dos tempos, proposta apocalíptica, não tem nem graça [...] Só vale quando eu estou falando pra ver o momento, como é que ele era [...] Morria de medo de riscar aquilo tão simples, como estava colocado. O que eles vão dizer disso? Não chega a ser nada [...] Não tem porta de entrada [...] ¹⁸⁷.

Na realidade, o “nada” de Artigas resultou em um projeto repleto de complexidades estruturais, geradas pela imposição da forma, que se refletem no comentário de Forty sobre o problema enfrentado por “Artigas e seu engenheiro para criar o efeito de tanto sendo sustentado por tão pouco”¹⁸⁸.

Apenas no sentido de ilustrar alguns dos problemas que emergiram pela imposição da forma no projeto da FAU-USP, pode-se citar: o estabelecimento de uma modulação ousada para o material, no caso 11,00m, vinculada a uma espessura máxima de 80cm para as lajes, cuja solução foi o emprego de lajes nervuradas com caixão perdido; a duplicação desse módulo no vão central mantendo-se a mesma espessura máxima de 80cm para as lajes, decisão que obrigou o emprego do concreto protendido; e as seções variáveis dos pilares dos pórticos que, nos projetos de Artigas, nessa fase, se caracterizavam por uma “complexificação quase barroca”¹⁸⁹.

¹⁸⁷ Depoimento de Artigas em outubro de 1978, São Paulo, retirado do filme dirigido por Paulo Markun e Sérgio Roizenblit, publicado em 28 de outubro de 2014. Fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=WRCzeyrqp-M>. Acesso em 08 de novembro de 2017.

¹⁸⁸ FORTY, 2013, p. 126.

¹⁸⁹ WISNIK, 2015, p. 165.

De maneira similar à análise do projeto do MAM-Rio, cuja pesquisa foi direcionada para o bloco de exposições pela relevância que a imposição da forma manifesta ali, a partir desse ponto, na análise do projeto da FAU-USP a imposição da forma será abordada por sua manifestação nos pilares.

Artigas costumava tratar os pontos de apoio de maneira especial em seus projetos. Essa estratégia de expressão tectônica, pela ênfase dada às condições de equilíbrio da edificação, é percebida pelo sujeito por meio do destaque visual dado aos aparelhos de apoio¹⁹⁰. Os aparelhos materializam a junta que separa os elementos que se apoiam dos elementos que proporcionam o apoio.

A configuração escultórica dos pilares da fachada da FAU-USP, que Artigas apresentou na fase de anteprojeto em um desenho de elevação e corte esquemático, tinha essa característica e seria uma complicação adicional ao projeto. A intenção de Artigas era a de fazer pilares articulados sobre uma base tronco-piramidal, como que separando a superestrutura da infraestrutura que emergia do solo. Por isso, nessa fase, já aparece a marcação nítida de uma junta nos desenhos de fachada (figuras 43 e 44).

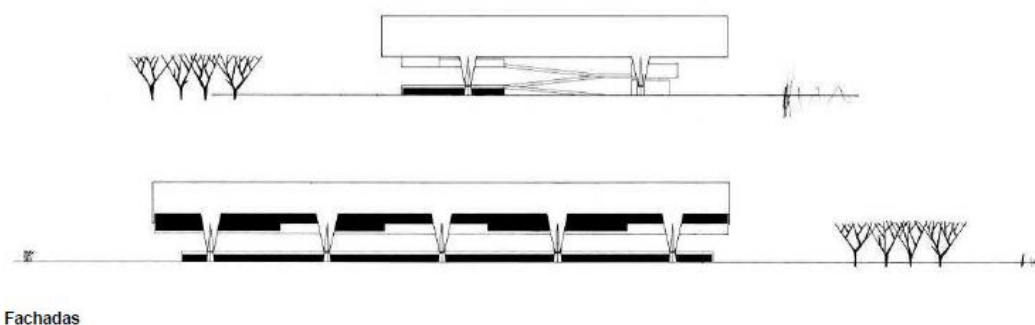


Figura 43: FAU-USP. Anteprojeto: fachadas.
Fonte: CONTIER, 2015, p. 272.

¹⁹⁰ Aparelhos de apoio são peças que servem para a ligação e transmissão de cargas entre partes independentes de uma estrutura.

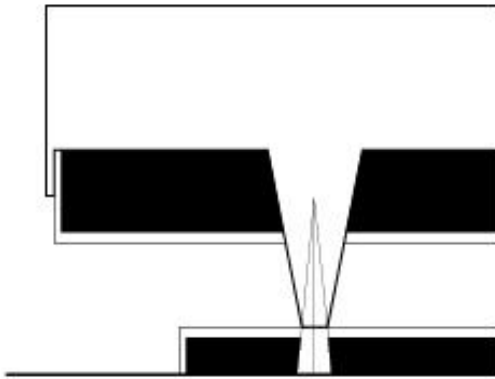


Figura 44: FAU-USP. Anteprojeto: ampliação do detalhe da junta nos pilares da fachada.
Fonte: CONTIER, 2015, p. 272.

Durante a elaboração do projeto básico Artigas também detalhou a seção transversal dos pilares internos, em formato de carretel, cuja função seria abrir espaço para passagem de tubulações, associando no mesmo elemento funções estruturais e hidráulicas (Figura 45).

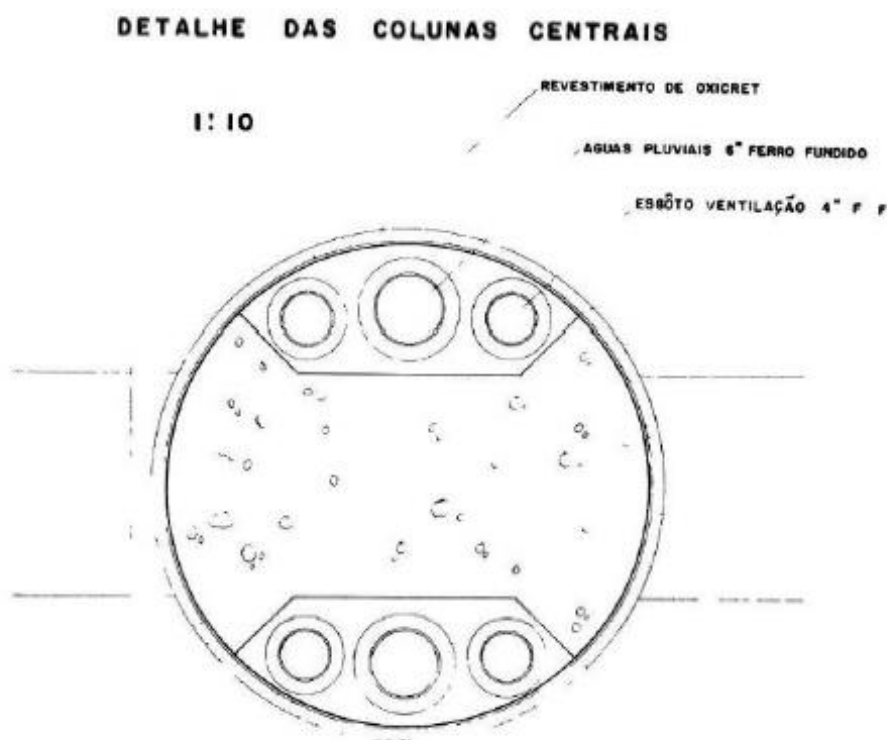


Figura 45: FAU-USP. Anteprojeto: detalhe dos pilares internos.
Fonte: CONTIER, 2013, p. 11.

Aqui cabe ressaltar um paradoxo na proposta de Artigas, que pretendia livrar o projeto da FAU-USP de todo “barroquismo”, dotando-o de “tremenda simplicidade”. O que se vê é que essa simplicidade é aparente e foi conquistada pela complexidade da técnica envolvida nas soluções estruturais, sem falar no custo financeiro a elas inerente, sobre os quais o então diretor da FAU-USP, Pedro do Amaral Cruz, que não concordava com o projeto, fosse por motivações políticas ou econômicas, se manifestou:

O esquisito projeto da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, conduziu a uma estrutura de concreto, totalmente afastada dos cânones usuais, com um volume tremendo de concreto protendido, tendo como consequências: um preço exagerado para a estrutura, e um prazo dilatadíssimo para sua construção¹⁹¹.

Em função das imposições formais de Artigas, o projeto foi qualificado por Castanho, engenheiro estrutural responsável pelo projeto, como um trabalho de “relojoaria”¹⁹², tal o grau de minúcia que exigiu no seu cálculo e detalhamento.

A questão da pré-definição das seções dos pilares é particularmente emblemática, uma vez que o pilar deixa de ser definido apenas pela carga que ele suportará e também pela resistência à compressão do material que o compõe, para precisar se adequar a uma forma pré-determinada e pouco usual.

Tradicionalmente o cálculo e dimensionamento estrutural de pilares é feito levando-se em conta a carga incidente na seção transversal e a resistência característica à compressão do material utilizado na execução da estrutura. A partir daí confirmam-se as dimensões necessárias de sua seção transversal. No caso da FAU-USP, pela imposição da forma, não parece ter sido essa a metodologia adotada. De fato pode-se observar, em uma estimativa geral de cargas para os pilares da edificação, que os pilares dos pórticos das fachadas são os menos carregados e os pilares internos são os mais carregados (Figura 46).

¹⁹¹ CONTIER, 2015, p. 287.

¹⁹² Ibid., p. 279.

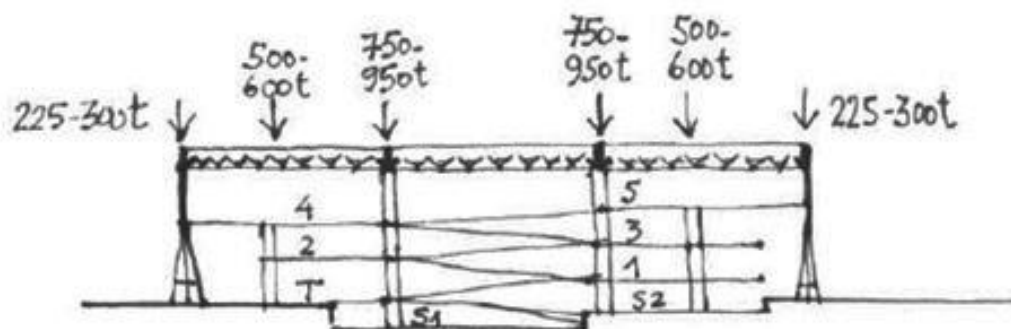


Figura 46: FAU-USP. Esquema de distribuição de cargas nos pilares: Corte Transversal.
Desenho Ana Clara Giannecchini.
Fonte: CONTIER, 2015, p. 281.

Entretanto, a impressão visual que se tem, ao observar o edifício construído, é de que as seções transversais dos pilares internos são menores do que as seções transversais dos pilares dos pórticos das fachadas, ou seja, haveria ali, pelo menos no aspecto visual, uma desproporcionalidade das seções em relação às cargas, que contraria os princípios de dimensionamento de pilares na Engenharia Estrutural.

No edifício da FAU-USP cabem, portanto, simultaneamente, duas categorias no sistema de classificação de estruturas de Howard. A primeira classificando a estrutura como adequada, que são aquelas possíveis em atendimento a requisitos arquitetônicos específicos, de modo que se pode renunciar à máxima eficiência estrutural uma vez que “o que é melhor para a estrutura não é necessariamente melhor para a edificação como um todo”, que é o caso dos pilares internos em seção de carretel e das lajes nervuradas com 80cm de altura que foram padronizadas independentemente do carregamento ou vão a ser vencido, por exemplo.

Quanto aos pilares externos a questão é outra. O que se observa nos pilares externos da FAU-USP é que a relação do desenho dos pilares com as cargas que os deveriam conformar é muito relativizada, basta ver a distribuição de cargas e sua relação de desproporcionalidade com as seções dos pilares do conjunto.

Aqui predomina o que Howard classifica como uma estrutura formal ou escultural, ou seja, aquela em que os elementos são exagerados ou cujas formas refletem um uso não eficiente do material, apenas pela causa do impacto emocional. Esse aspecto do projeto da FAU-USP é, talvez, a maior evidência de que Artigas,

assim como Reidy no projeto do MAM-Rio, é o “mestre inquestionável da expressão tectônica” a que se refere Sekler¹⁹³.

No entanto, o formato dos pilares da fachada precisou sofrer alterações ao longo do desenvolvimento do projeto. Artigas queria materializar uma junta física entre a parte inferior do pilar e seu ponto de encontro com a base tronco-piramidal, que seria uma espécie de protrusão da infraestrutura, utilizando um aparelho de apoio como estratégia visual para enfatizar a separação entre a superestrutura e seus elementos de fundação (Figura 47).

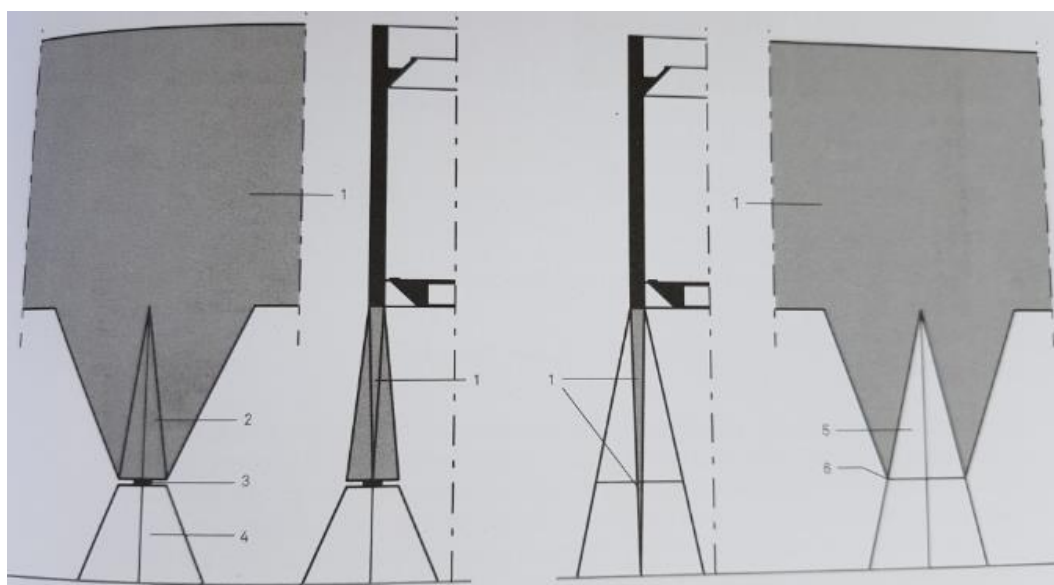


Figura 47: FAU-USP. Desenhos dos pilares da fachada: à esquerda proposição inicial de Artigas, à direita como executado.

Escala horizontal 1:100 / Escala vertical 1:200.

Fonte: BAROSSO, 2016, p. 125.

Além do aspecto visual, imaginava, com isso, livrar a estrutura da junta de dilatação que se fazia necessária em função do comprimento de 110,00m da fachada longitudinal e 66,00m da fachada transversal, ambos, considerados na ocasião, valores inadequados no que concerne ao comportamento das estruturas de concreto submetidas aos esforços provenientes de dilatação e retração do material, e que de fato precisaria ser executada. Essa materialização se daria pela colocação de um aparelho de apoio no ponto de contato entre os dois elementos. No entanto, não foi possível resolver o problema criado pelas articulações na análise dos modelos

¹⁹³ SEKLER, 1965. In: KEPES, 1965, p.94.

estruturais, pois, segundo Castanho, seria necessário executar articulações do tipo *menasger*¹⁹⁴.

Assim como a partir da análise estrutural dos pórticos do MAM-Rio surgiu a necessidade da construção de tirantes abaixo do piso do pavimento térreo para equilibrar o conjunto, foi necessário modificar a configuração dos pilares da FAU-USP, mantendo a monoliticidade de sua seção ao longo de todo o comprimento e marcando a junta apenas superficialmente em um baixo relevo de 3cm.

Assim, esse detalhe específico, que caracterizaria a “materialização de um conceito estrutural através da construção”¹⁹⁵, precisou, nesse caso, se revelar apenas figurativamente nos pórticos das fachadas (Figura 48).

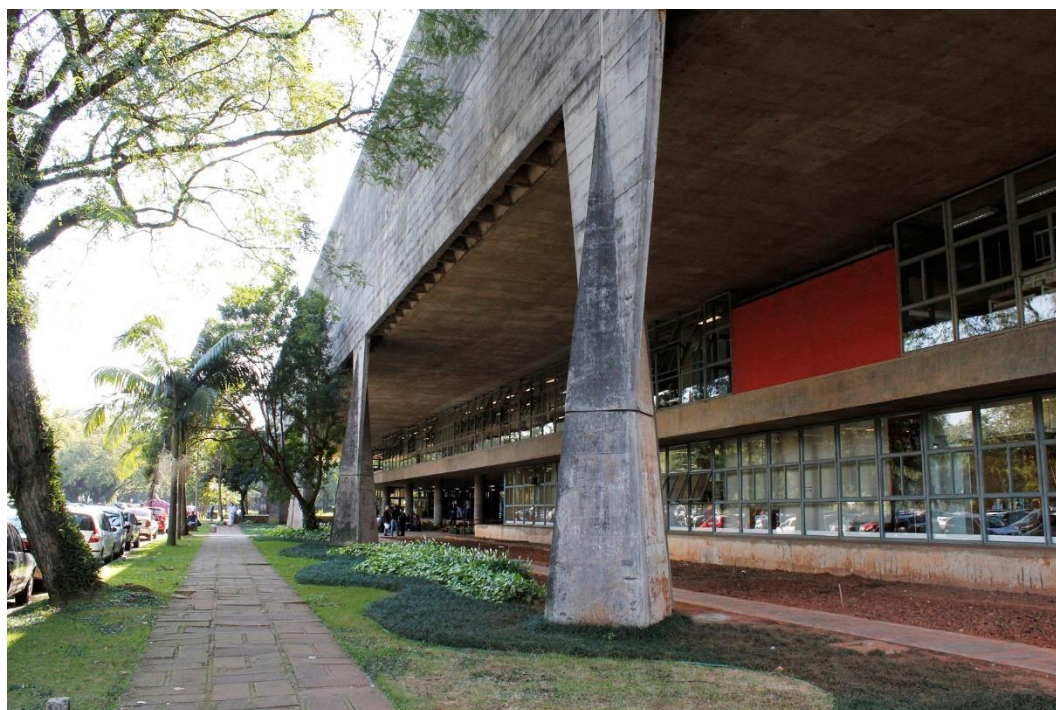


Figura 48: FAU-USP. Detalhe do pilar da fachada construído.

Fonte: <http://www.imagens.usp.br/?p=14352>.

O formato escultural e a distribuição espacial dos pilares desses pórticos parece contradizer a lógica de sua condição fundamental de apoio, pela configuração simultânea de esbeltez e escassez, o “tão pouco” mencionado por

¹⁹⁴ CONTIER, 2013, p. 6.

¹⁹⁵ SEKLER, 1965. In: KEPES, 1965, p. 89.

Forty¹⁹⁶. Ainda assim possuem uma expressão tectônica inegável, que Sekler identificou nos templos gregos do Paestum e do Parthenon e descreveu como “o gesto nobre que torna visível um jogo de forças, de suporte de cargas em colunas e entablamentos, suscitando nossa própria participação empática na experiência”¹⁹⁷.

Wisnik, por sua vez, argumenta que existe em Artigas uma severa moral construtiva que:

Procura deixar evidentes as marcas do processo produtivo na obra acabada. Marcas estas, visíveis tanto no tratamento bruto do concreto aparente, quanto na explicitação da mecânica da construção, legível nas cargas e empuxos que determinam o desenho dos pilares¹⁹⁸.

Assim, no edifício da FAU-USP, o impacto emocional a que Howard se refere pode ser entendido como uma experiência empática advinda da expressão tectônica e o modo como os quatro pórticos da fachada afetam o sujeito. Afetação descrita por Forty, quando menciona o “tanto sendo sustentado por tão pouco”¹⁹⁹, dando origem a uma inquietação.

Longe de se caracterizar apenas como a manifestação de um processo construtivo a revelar um caminho de forças, a expressão tectônica desses pórticos vem responder a essa inquietação pela revelação de um valor epistêmico inerente àqueles elementos, como formulado por Frampton a partir de sua leitura de Heidegger²⁰⁰. Leitura coerente com o discurso de Artigas, que atribui à “exuberância formal” e à “audácia técnica” de sua arquitetura a capacidade de superar uma “realidade social caracterizada pelo atraso de sua infraestrutura”. Artigas estaria dizendo ali: sabemos fazer. Resposta que só poderia existir como produto de um determinado estágio de conhecimento, que se reflete na configuração daqueles pórticos. Segundo Artigas:

O edifício criado pelo homem, assim como tudo que é criado por ele, prevalece no conjunto do ambiente com a linguagem do autor, mas como a expressão de todo o conhecimento artístico da época em que foi feito²⁰¹.

¹⁹⁶ FORTY, 2013, p. 126.

¹⁹⁷ SEKLER, 1965. In: KEPES, 1965, p. 93.

¹⁹⁸ WISNIK, 2004. In: ANDREOLI; FORTY, 2004, p. 48.

¹⁹⁹ FORTY, op. cit., p. 126.

²⁰⁰ FRAMPTON, 1995, p. 23.

²⁰¹ THOMAZ, 1993, p. 78.

A imposição da forma no projeto da FAU-USP é um aspecto evidente e demandou da Engenharia Estrutural soluções específicas e inovadoras para a época, ampliando fronteiras de conhecimento. A imposição da forma aqui também confirma a prioridade da forma estética em detrimento da forma estática, a que resulta “exatamente da estabilidade da construção”, além de, no caso, mostrar que “não há adaptação perfeita entre a estética dos arquitetos e a estática dos engenheiros”²⁰², como afirmava Cardozo.

Por sua vez, essa imposição foi o que deu origem a uma edificação na qual se materializa o discurso de Artigas pela associação entre arte, técnica e ofício, condição ontológica que se manifesta na expressão tectônica dessa matriz forma-estrutura.

3.2.2

Legibilidade estrutural

A legibilidade estrutural em certos projetos de Artigas é uma questão intrínseca à arquitetura, pois conforme Wisnik:

Artigas fez da forma construída a expressão do seu comportamento estrutural, caminhando no sentido de evidenciar os esforços tectônicos da construção e seus vínculos dinâmicos, em direção contrária àquela seguida pela arquitetura de Niemeyer²⁰³.

Kamita ressalta que há um “redirecionamento da questão da forma entendida como volume geométrico para a de estrutura” a partir do projeto da “casa dos triângulos, em 1959, e que esse movimento caracterizará sua obra a partir de então²⁰⁴.

Essa legibilidade, todavia, pode se dar de modo mais ou menos evidente. No caso do projeto da FAU-USP é interessante acompanhar o processo de sua evolução, no sentido de compreender os passos que deram origem ao projeto construído, e que constituem a razão de ser de sua legibilidade estrutural, que está

²⁰² CARDOZO, 1958, p. 136.

²⁰³ WISNIK, 2004. In: ANDREOLI; FORTY, 2004, p. 48.

²⁰⁴ KAMITA, 2000, p. 24.

fortemente ancorada pela modulação, enfatizando a racionalidade do sistema portante e facilitando sua leitura. No projeto da FAU-USP essa decisão projetual se reflete na amplitude dos vãos a serem vencidos pelas vigas e lajes que se apoiam nos pilares do sistema estrutural. Por essa razão os pilares, que anteriormente foram objeto de discussão sob a ótica da categoria imposição da forma, serão analisados nessa seção pelo enfoque da legibilidade estrutural.

No projeto da FAU-USP, a proposta inicial de modulação sofreu algumas alterações significativas durante seu desenvolvimento e, por isso, é importante que se compreenda como tais alterações se refletiram no sistema estrutural sendo, portanto, necessário resgatar o processo de projeto desde o estudo preliminar.

Pode-se reparar que a distribuição dos pilares da fachada na fase de estudo preliminar é diferente do projeto final efetivamente construído. No estudo preliminar existem 5 pilares na fachada longitudinal e 3 pilares na fachada transversal, todos obedecendo a modulação de 11,00m estabelecida para a distribuição dos pilares internos, sendo que na fachada o módulo é dobrado (Figura 49).

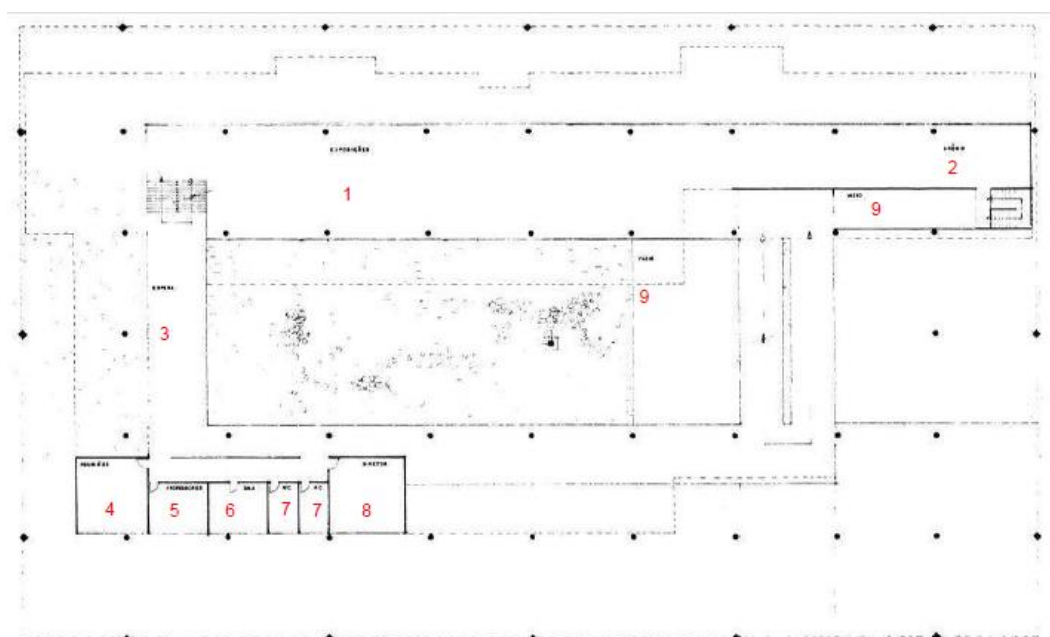


Figura 49: FAU-USP. Estudo Preliminar: planta baixa do pavimento térreo.
Fonte: CONTIER, 2015.

Essa distribuição de pilares na fachada, traz para a estrutura uma condição de indeterminação hierárquica de apoios, que poderia ser mantida, do ponto de vista estrutural, apesar de não ser ideal.

A indeterminação se dá porque quando as extremidades das vigas dos pórticos transversais encontram-se com as extremidades das vigas dos pórticos longitudinais, do ponto de vista estrutural, não ficam claras as condições de apoio, pois os vãos das extremidades das vigas longitudinais e transversais são iguais. Seriam dois balanços independentes? As vigas transversais se apoiariam nas vigas longitudinais, ou vice-versa? Como se daria o caminho das cargas devido a essa indeterminação?

O que o desenvolvimento posterior do projeto mostra é que foi tomada uma decisão no sentido de liberar ainda mais os espaços de circulação contínua, pela retirada dos pilares centrais dos pórticos transversais. Decidiu-se também pela supressão dos pilares do eixo longitudinal central e pelo deslocamento, em meio módulo em direção a esse eixo, dos pilares remanescentes das fachadas transversais, agora apenas dois em cada fachada. Essa decisão alterou significativamente o espaço, liberando da presença de pilares toda a área central do edifício, configurando de maneira “limpa” o pátio e conferindo à região uma continuidade total com o exterior, de um lado ao outro na direção longitudinal, só “interrompida” espacialmente pelas rampas (Figura 50).

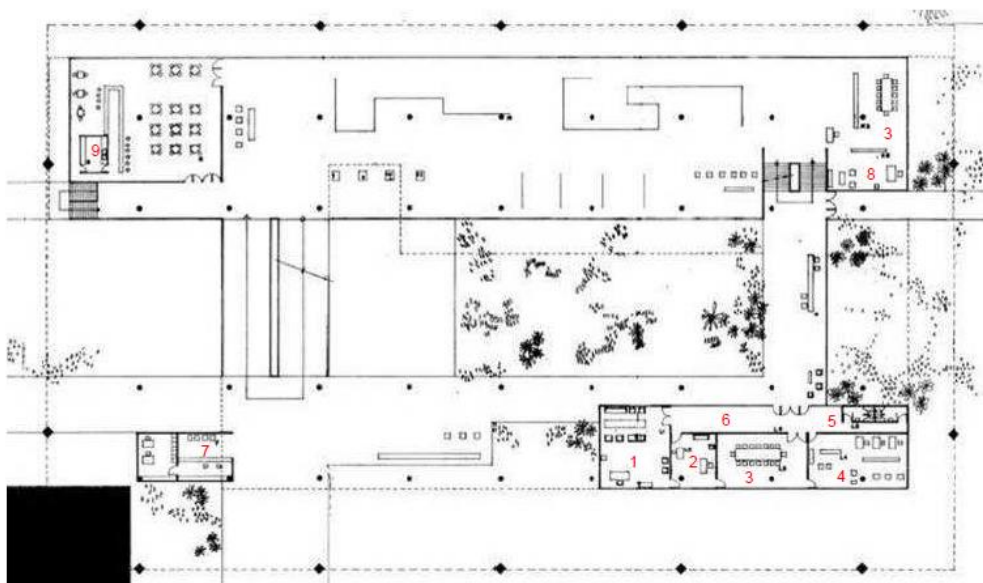


Figura 50: FAU-USP. Anteprojeto: planta baixa do pavimento térreo.
Fonte: CONTIER, 2015.

Alteraram-se assim também, muito expressivamente, as configurações estruturais, pois, apesar de mantida a modulação de 11,00m para as edificações periféricas internas aos pórticos, os vãos transversais centrais da estrutura passaram a ser de 22,00m, o que efetivamente trouxe dificuldades adicionais para o projeto estrutural.

Por sua vez, a indefinição da hierarquia estrutural das vigas dos pórticos das fachadas se resolveu com a retirada dos pilares centrais das vigas das fachadas transversais, e o deslocamento dos dois pilares restantes nas extremidades em meio módulo, na direção do eixo longitudinal central.

A retirada desses pilares criou para essas vigas três vãos, dois vãos de 16,50m nas extremidades e um vão central de 33,00m. Assim, a legibilidade estrutural se tornou clara, firmando a condição de balanços para as extremidades das vigas das fachadas longitudinais, que passaram a dar apoio para as vigas das fachadas transversais, resolvendo a indeterminação do caminho de cargas.

Para solucionar estruturalmente os vãos de 11,00m e 22,00m da modulação arquitetônica, Artigas propõe a execução de lajes nervuradas, em princípio a solução estrutural mais adequada para suportar os carregamentos impostos e a morfologia específica dos pavimentos onde se realizariam os diferentes programas.

Artigas, porém, impõe o valor de 80 cm para altura das nervuras que deveriam ser executadas tanto nas lajes de 11,00m de vão como nas lajes de 22,00m de vão, caso das rampas, contrariando a clássica relação de proporção entre a altura do elemento estrutural e o vão a ser vencido.

Essa decisão gerou uma distribuição de nervuras caracterizada pela falta de uniformidade e também à necessidade de introdução da técnica do concreto protendido no processo construtivo. As nervuras precisariam ser posicionadas mais ou menos espaçadas de acordo com cada caso específico de solicitação estrutural (Figura 51).

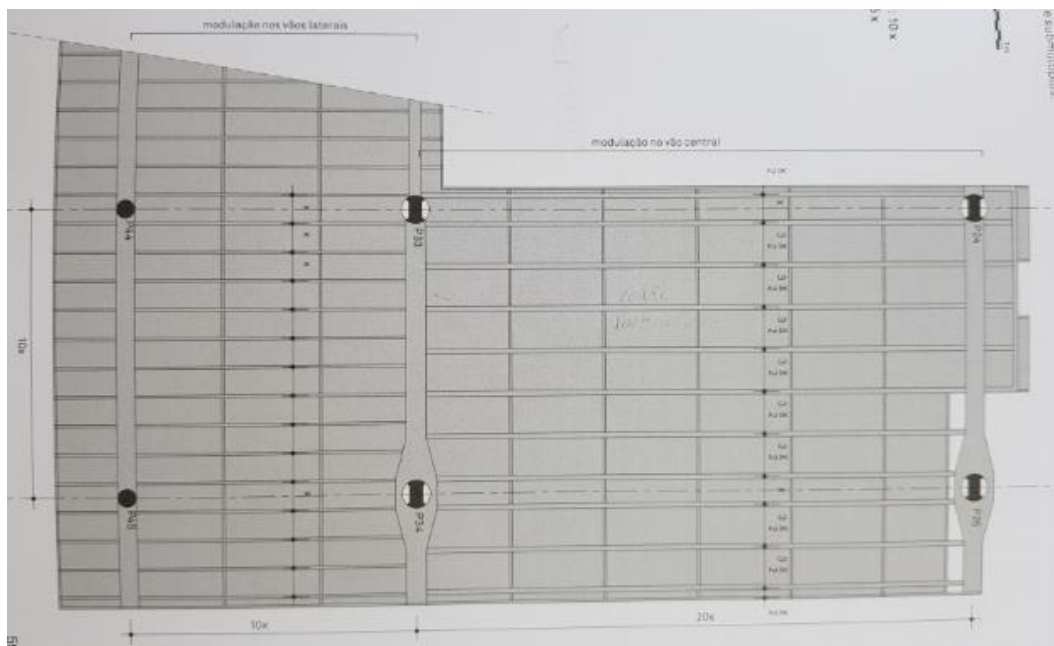


Figura 51: FAU-USP. Diagrama parcial da estrutura.
Fonte: BAROSSO, 2016, p.59.

Tal configuração foi disfarçada por uma solução que privilegiava a plástica, como se comprova na representação do sistema estrutural das lajes, onde Artigas desenha o que seria uma laje nervurada dupla, para que as nervuras ficassem escondidas por uma laje de fundo, de modo que o sujeito teria a impressão visual de uma placa maciça com os 80 cm de espessura por ele determinados, como pode-se observar no desenho de corte transversal.

Esse sistema, conhecido por lajes com caixão perdido²⁰⁵, vinha sendo utilizado em projetos da Arquitetura Moderna até então, e tinha como vantagem estética esconder as nervuras das lajes, dando a impressão de uma laje maciça, o que se mostra um paradoxo no que diz respeito ao “compromisso moral entre forma estética e verdade construtiva”²⁰⁶, de acordo com os princípios corbusianos dos quais Artigas se aproximou. Pelo menos no que tange ao papel da estrutura no processo construtivo, tais verdades foram escondidas em prol da estética.

O que se nota até aqui é que as decisões arquitetônicas condicionaram as decisões estruturais e vice-versa, condição intrínseca ao princípio projetual da

²⁰⁵ Cf. p.36. O sistema de lajes em caixão perdido caiu em desuso na construção civil, algum tempo depois, por problemas relacionados à deterioração da madeira, ocasionados pela umidade proveniente da água do concreto, além da formação de ninhos de cupim no interior da estrutura.

²⁰⁶ KAMITA, 2000, p. 13.

forma-estrutura, bem como é curioso observar como a representação em corte dá a dimensão da legibilidade do edifício como um todo, tanto no projeto do MAM-Rio quanto da FAU-USP (Figura 52).

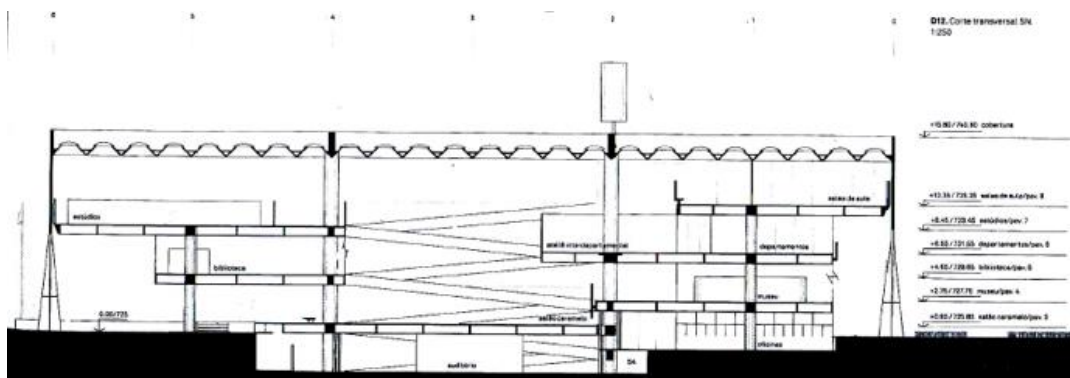


Figura 52: FAU-USP. Corte transversal.
Fonte: BAROSSO, 2016, p. 31.

Estrutura espacial e estrutura portante, em identidade fundamental, se fazem compreender por uma única representação, condição ratificada por Barossi quando afirma que “esse é o corte clássico e mais significativo da FAU. Capaz de mostrar o edifício por inteiro. É como se ele se bastasse”²⁰⁷.

De fato, a legibilidade estrutural no edifício da FAU-USP pode ser abordada em três momentos. O primeiro momento se dá com o sujeito no exterior do edifício onde é nítida a presença de quatro pórticos, dois longitudinais e dois transversais, paralelos dois a dois e perpendiculares entre si, compostos pelas vigas do entablamento que se encontram nas extremidades formando as paredes de uma caixa de concreto. Essas vigas monumentais, em função de sua altura, se apoiam nos pilares esculturais da fachada informando visualmente o caminho das cargas.

Em um segundo momento, ao se entrar no edifício, observa-se as lajes dos pavimentos, que se apoiam em pilares espaçados regularmente, e na extremidade novamente lajes, dessa vez inclinadas, formando as rampas de ligação entre os edifícios construídos dentro do edifício. Em nenhum momento a hierarquia clássica do caminho de cargas, ou seja, lajes que se apoiam em pilares que conduzem as

²⁰⁷ BAROSSO, 2016, p. 31.

cargas para as fundações, em uma construção ascendente de pavimento sobre pavimento, deixa de ser compreendido, e aqui a “forma visível e tangível que resulta do processo da construção”²⁰⁸, como menciona Sekler, pode ser constatada.

O terceiro momento se dá quando, ao se olhar para a cobertura a partir do pavimento térreo, a sensação é bem outra. Uma placa vazada composta de domos translúcidos se agiganta sobre todos os demais pavimentos e não fica claro o sistema estrutural que a constitui, apesar de se perceber os pilares que a sustentam e a sua materialidade em concreto aparente.

O sistema estrutural da cobertura é completamente invertido do ponto de vista do observador. Aqui a verdade do processo construtivo vira um enigma pois toda a estrutura responsável pela sustentação dos domos fica invisível, tanto para o sujeito que se posiciona no lado externo como para o que se posiciona no lado interno do edifício, tornando sua compreensão impossível. Sabe-se apenas que existem domos por onde entra a luz natural. No entanto, em função das distâncias entre os pilares, foi necessário criar um sistema robusto de vigas em grelha, configurado em três blocos independentes, separados por juntas de dilatação, para que a cobertura pudesse ser executada.

Além das duas vigas longitudinais da fachada outras duas vigas invertidas medindo 1,90m de altura, também longitudinais, dão apoio às dezenove vigas transversais que formam a grelha. Apoiando-se nessa grelha encontra-se uma laje de 8cm de espessura, seccionada por elementos de concreto de seção transversal em “V”, com 78cm de altura, que geram os domos tronco-piramidais vazados medindo 2,75m x 2,75m. Apesar do aspecto industrializado dos domos, não houve pré-fabricação e o sistema foi também executado em caixão perdido de fôrmas (Figuras 53 e 54).

²⁰⁸ SEKLER, 1965. In: KEPES, 1965, p. 89.

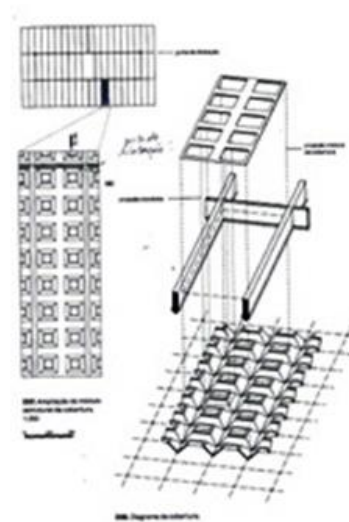


Figura 53: FAU-USP. Vista da grelha invertida da cobertura.

Fonte: <https://teoriacritica13ufu.files.wordpress.com/2010/12/imagem91.jpg>.

Figura 54: FAU-USP. Detalhes da grelha da cobertura.

Fonte: BAROSSO, 2016, p. 61.

O sistema estrutural da cobertura, portanto, só pode ser visto por cima, ficando totalmente oculto aos olhos do sujeito que se encontra no interior do edifício ou mesmo em seu exterior, no nível da rua. Este só apreende visualmente uma caixa suspensa pelos esbeltos pilares.

No edifício da FAU-USP, apesar da maior parte de seu conjunto, excetuando-se aí a cobertura, possuir uma legibilidade estrutural muito clara no que diz respeito ao caminho das cargas e de uma certa lógica da construção, o que se observa são soluções estruturais determinadas pela imposição da forma e que de certa maneira disfarçam as verdades dos processos construtivos, como no caso das nervuras embutidas nos caixões perdidos, e o baixo relevo dos pilares da fachada.

O caso da cobertura é ainda mais emblemático, uma vez que sua estrutura é deliberadamente escondida. Por sua vez, talvez essa fosse a única maneira de fazer o que os alunos e professores consideram as “janelas para o céu” da FAU-USP.

3.2.3

Materialidade estrutural

Forty considera relativamente raro encontrar um edifício que, como a FAU-USP, seja simultaneamente primitivo e sofisticado. Primitivo pela materialidade rústica dos pórticos da fachada e ao mesmo tempo, tecnologicamente sofisticado, pelo refinamento da Engenharia Estrutural que possibilitou sua realização.²⁰⁹

Artigas concebeu o projeto da FAU-USP em concreto também como meio de uma expressão artística, que posteriormente teve a oportunidade de descrever:

O concreto utilizado não é só uma solução mais econômica, como corresponde à necessidade de se encontrar meios de expressão artística, lançando mão da estrutura do edifício, sua parte mais digna²¹⁰.

Estava implícito que não seriam os fatores técnicos e econômicos apenas, os vetores a direcionar o projeto. Tanto a estrutura como o seu material, o concreto, seriam apropriados artisticamente, de maneira intencional, desde o início, sem acasos. A materialização da forma se daria por intermédio da utilização do concreto bruto, *in natura*, e suas possibilidades expressivas.

Por isso é notório o contraste entre a rudeza do concreto do entablamento nas fachadas e o refinamento da Engenharia Estrutural a que Forty se refere²¹¹. Essa foi uma decisão projetual de Artigas que ampliou a expressão tectônica do edifício para além da leitura do caminho de forças, caracterizando, portanto, verdadeira experiência empática.

A fabricação do concreto da obra, como em todas as obras de concreto aparente, deveria obedecer a especificações rígidas de modo a garantir o controle de sua qualidade, tanto no que diz respeito às propriedades mecânicas quanto aos aspectos visuais projetados por Artigas.

Com relação à materialidade haviam duas condições distintas a atender: o acabamento rústico do concreto dos pórticos externos e o acabamento polido e liso

²⁰⁹ FORTY, 2013, p. 127.

²¹⁰ ARTIGAS, 1961. In: FERRAZ, 1997, p. 101.

²¹¹ Cf. nota 209.

do concreto no interior. Essa condição levou o engenheiro José Carlos de Figueiredo Ferraz a preparar um relatório detalhado de especificações, que encaminhou ao assessor técnico do Fundo para Construção da Cidade Universitária.²¹²

A estrutura no interior do edifício foi executada com um concreto bastante liso, cujas fôrmas foram montadas com placas de compensado e, por isso, a marcação é muito sutil, dando a impressão de um acabamento polido que remete aos acabamentos industrializados. A essa materialidade se soma o acabamento em tinta epóxi brilhante do pátio central, o Salão Caramelo, que enfatiza ainda mais essa associação (Figura 55).



Figura 55: FAU-USP. Salão Caramelo e Fachada da Biblioteca.

Fonte: CAU/BR. <http://arquiteturaurbanismotodos.org.br/fau-usp-fica-entre-as-40-melhores-faculdades-de-arquitetura-e-urbanismo-do-mundo/>

²¹² O relatório continha instruções precisas sobre a fabricação do material. Entre outras recomendações, Ferraz especificava o valor de 320kgf/cm² para resistência média à compressão do concreto da superestrutura, o controle de qualidade rigoroso na sua fabricação, conforme estabelecido pela norma técnica vigente, a NBR, a preparação das fôrmas “de modo a permitir que o concreto aparente apresente-se com aspecto uniforme, sem defeitos”, além de programar juntas de concretagem para as vigas da fachada a cada 1,20m ou 1,50m. Chamava atenção também para os pilares externos da fachada: “As fôrmas das colunas externas, devido a sua forma especial, devem ser revestidas de chapa”. Preocupado com os efeitos nocivos da retração do concreto, planejou as etapas da concretagem por blocos, deixando o trecho central para ser concretado por último, “depois de praticamente terminado o processo de retração (45 dias), além de recomendar aditivos químicos que melhorassem a trabalhabilidade do concreto facilitando a concretagem e minimizando a retração, tentando com isso evitar o aparecimento de fissuras*.”

* CONTIER, 2015, p. 293.

Já o acabamento rústico que Artigas especificou para a fachada, proveniente das fôrmas executadas por meio da justaposição de tábuas de pinho de 30cm de largura, seria obtido por dois posicionamentos diferentes dessas tábuas: horizontal no entablamento e no pilar triangular descendente dele, e vertical no trecho triangular ascendente de sua base piramidal²¹³. Essa especificação deixa clara sua intenção de enfatizar a expressão tectônica, uma vez que o posicionamento horizontal ou vertical das tábuas seria indiferente para o funcionamento estrutural e mesmo para o processo construtivo em si.

Para o sujeito, porém, essa indiferença não se manifesta. As especificações de Artigas imprimiram ao conjunto uma continuidade visual que poderia confundir a legibilidade estrutural ao induzir a associação da viga e do pilar triangular como peça única.

Essa leitura seria enfatizada pela monoliticidade natural das estruturas de concreto e pelo aspecto gráfico horizontal de marcação das fôrmas, levando o sujeito a se perguntar se o triângulo descendente, com a mesma espessura da viga do entablamento, seria já o pilar ou apenas uma extensão da própria viga.

Como referência a trabalhos anteriores Artigas poderia também utilizar aquela materialidade para destacar ali uma condição de construção arcaica, como o fez na casa Baeta (1956) ao aludir à concepção estrutural da “casinha de minha infância”, que era feita de tábuas, procurando com isso expor o trabalho manual em contraste com a materialidade do interior e seu acabamento industrial.

De qualquer maneira, a materialidade rústica dos pórticos das fachadas é obtida de maneira intencional reiterando, portanto, o que Forty identificou ali como o contraste entre a rudeza do material e o refinamento da Engenharia Estrutural, denotando, acima de tudo, a materialização do discurso de Artigas (Figura 56). Discurso em que dizia: “a realidade é que a exuberância formal e a audácia técnica de nossa arquitetura esforçam-se para superar uma realidade social caracterizada pelo atraso de sua infraestrutura”²¹⁴.

²¹³ CONTIER, 2015, p. 303.

²¹⁴ ARTIGAS, 1981, p. 18.



Figura 56: FAU-USP. Fachada com marcação de fôrmas.

Fonte: https://commons.wikimedia.org/w/index.php?title=Special:Search&title=Special:Search&redirs=0&search=fau+usp&fulltext=Search&fulltext=Advanced+search&ns0=1&ns6=1&ns14=1&advanced=1&searchToken=1v1mm6j7emzjx542k8tnb4bg1#/media/File:Fau_usp.jpg.

Segundo Wisnik poderia também servir para evitar uma “reificação do edifício como uma imagem desprovida de história e trabalho humano”²¹⁵, enquanto que, para Contier, poderia representar uma “atitude contra o fetiche formal e a adesão estética imediata”²¹⁶.

Para Forty, a arquitetura praticada em São Paulo naquela ocasião “desenvolveu meios de utilizar o concreto que escapariam do julgamento e dos valores estabelecidos por países do primeiro mundo, tornando-se imune à autoridade estrangeira sobre o assunto” e o prédio da FAU-USP demonstraria “o desenvolvimento desse discurso alternativo”²¹⁷.

Quaisquer que sejam as interpretações, é importante notar os meios de utilizar o concreto na materialidade estrutural, pois essa materialidade não altera sua capacidade estrutural. Áspero, liso, irregular ou preciso, do ponto de vista

²¹⁵ WISNIK, 2015, p. 154.

²¹⁶ CONTIER, 2015, p. 328.

²¹⁷ FORTY, 2013, p. 126.

estrutural são outras as propriedades que determinam sua capacidade resistente, não a materialidade em si. As diferentes materialidades estruturais na FAU-USP foram empregadas por Artigas com o intuito de ampliar a expressão tectônica proveniente da implementação do conceito de forma-estrutura, que possivelmente gerou o projeto.

Muitas são as possibilidades de expressão tectônica e, nesse projeto especificamente, elas se revelaram por meio das diferentes categorias de análise. Pela imposição da forma dos pórticos da fachada a expressão tectônica se manifestou na experiência empática descrita por Forty, além de revelar o valor epistêmico ali inserido, enquanto a legibilidade estrutural ratificou a expressão tectônica da racionalidade do projeto e do caminho de cargas, apesar de colocar em cheque o princípio da verdade construtiva. No entanto, é pela materialidade estrutural que a expressão tectônica associa mais fortemente o processo construtivo ao discurso de Artigas, que acreditava na “vida própria” de sua obra como possibilidade permanente de, por meio dela, manter sempre aberta uma superfície de plena discussão:

[...] e esse projeto, quando se cristaliza no edifício, fala para os séculos, ele não pode jamais parar de falar. Separa-se como um livro de seu autor, vira-se de costas para o próprio autor, passa a ter vida própria²¹⁸.

²¹⁸ THOMAZ, 1993, p. 78.

3.3

CATEDRAL DE BRASÍLIA

Projeto: 1958

Construção: Estrutura 1959-1960, conclusão 1967²¹⁹ ou 1969-1970²²⁰.

Projeto de Arquitetura: Oscar Niemeyer

Projeto Estrutural: Joaquim Cardozo

Mas foi em Brasília que minha arquitetura se fez mais livre e rigorosa. [...] Minha preocupação foi caracterizá-la com as próprias estruturas [...] ²²¹.

Oscar Niemeyer

É o próprio Niemeyer que se refere à estrutura integrada à arquitetura na concepção formal dos projetos de Brasília e, no caso da Catedral, não seria uma estrutura qualquer. A estrutura da Catedral gera uma forma que tem como princípio uma estratégia compositiva coerente com o repertório niemeyeriano, de acordo com a caracterização proposta por Edson Mahfuz²²².

O partido monolítico adotado por Niemeyer abriga todos os elementos em um volume único de forma regular, posicionado sobre uma plataforma sob a qual estão todos os espaços de convivência, circulação e serviços. No nível superior estão objetos simbólicos que se colocam em diálogo com a cidade monumento, em uma composição urbana do tipo acrópole, conforme a formulação de Colin Rowe²²³, em pertinência com sua condição de templo, como era o Parthenon.

Na Catedral de Brasília a geração da forma e a criação do espaço se dão por meio de uma matriz radial de repetição de um único elemento estrutural, que Niemeyer descreve como uma “coluna curva”, estratégia definida pelo que Maria Alice Junqueira Bastos considera uma unidade “espaçoestrutural”²²⁴. Essa estratégia mostrou-se coerente com a autocrítica contida no ensaio *Depoimento*, que Niemeyer publicou em 1958, mesmo ano da elaboração do projeto, no qual indica

²¹⁹ VASCONCELOS, 1992, p. 105.

²²⁰ PESSOA; CLÍMACO, 2002, p. 22.

²²¹ NIEMEYER, 1978, p. 42.

²²² Mahfuz caracteriza três partidos básicos na obra de Niemeyer: o primeiro é o partido monolítico ou compacto, o segundo é o partido baseado na composição elementar e o terceiro é o partido que decompõe o programa em átomos funcionais. MAHFUZ, 2002, p. 283.

²²³ MAHFUZ, 2002, p. 290.

²²⁴ BASTOS; ZEIN, 2015, p. 94 et. seq.

novas diretrizes para sua arquitetura, entre elas a de que a expressão de seus edifícios não se daria mais por elementos secundários, mas pela “própria estrutura devidamente integrada na concepção plástica original”²²⁵.

As diretrizes descritas por Niemeyer apontam para uma fusão entre a forma e a estrutura portante como princípio projetual, assim como fizeram Reidy no projeto do bloco de exposições do MAM-Rio e Artigas no projeto da FAU-USP.

A arquitetura “mais livre e rigorosa” também se manifestaria no projeto da Catedral, e o enfrentamento do paradoxo da liberdade com rigor pode ser uma das chaves para a compreensão do projeto no que diz respeito à expressão tectônica resultante da decisão projetual de caracterizar a arquitetura com a própria estrutura.

Ali a distensão e a pureza da forma livre se colocam em oposição ao racionalismo construtivista da Arquitetura Moderna, que vinha sendo realizada no Brasil na década de 1950. Essa singularidade pode escamotear a compreensão do objeto construído como produto de um processo construtivo e a expressão tectônica resultante desse processo, além de distanciar sua legibilidade dos parâmetros fundamentados na racionalidade. Nenhuma dessas características, no entanto, exclui do projeto o rigor a que Niemeyer se refere.

Com relação à expressão tectônica da Catedral há ainda um complicador adicional, uma vez que o edifício foi inaugurado em concreto aparente e assim permaneceu até 1987. Sabe-se que naquele ano a estrutura foi pintada de branco, alterando completamente sua expressão tectônica, trazendo para essa análise um ponto adicional para discussão (Figura 57).

12:00 AM
31 de Maio, 1970

Inauguração oficial

Após 12 de anos desde o lançamento da pedra fundamental – quando ainda apresentava colunas de concreto aparente e vidros externos incolores –, foi oficialmente inaugurada pelo Cardeal D. Eugênio Salles, Delegado Pontifício do Papa Paulo VI, na solene Missa de encerramento do VIII Congresso Eucarístico Nacional do Brasil, primeiro realizado em Brasília.

12:00 AM
20 de Fevereiro, 1987

Primeira reforma

Em 1987, foi feita a primeira reforma da catedral. Nela, houve a substituição dos vitrais incolores pelos atuais, pintados por Marianne Peretti; e os pilares de concreto da estrutura foram pintados de branco.

Figura 57: Notas sobre a história da Catedral de Brasília.
Fonte: <http://catedral.org.br/linhadotempo>.

²²⁵ NIEMEYER, 1958, p. 4 et. seq.

Ao se referir à noção comum de espaço existente no “desenho de formas” de Niemeyer e no “desenho de estruturas” em São Paulo²²⁶, que se daria pela maneira como os projetos “expressam sua relação com a superfície e o volume”, Telles dá a medida dos diferentes âmbitos em que se poderia dar a legibilidade de tais projetos, pois o racionalismo e a legibilidade estrutural intrínsecos ao desenho de estruturas em São Paulo são opostos à forma livre das superfícies de Niemeyer e seu desenho de formas, configurando, portanto, abordagens distintas para o mesmo problema: a criação do espaço.

A classificação de projetos baseada no desenho de estruturas em contraposição ao desenho de formas, parece excluir do segundo a existência das estruturas portantes, e também de todas as implicações construtivas para sua realização, além de atribuir ao projeto proveniente do desenho de formas a inexistência de uma expressão tectônica.

O que se percebe na Catedral de Brasília e em outros projetos de Niemeyer, é que a expressão tectônica, ao que tudo indica, vem também da construção de estruturas portantes que geram a forma, mas que fogem ao padrão racionalista convencional, nas quais é possível identificar o que Sekler define como “o jogo de forças e o correspondente arranjo das partes na edificação”²²⁷, sem, no entanto, perderem sua qualidade estrutural intrínseca.

São estruturas que tendem a afetar o sujeito, que não identifica ali a expressão tectônica de um conceito estrutural inteligível, implementado por meio da construção, a se dar pela legibilidade do caminho das forças. Essa perturbação é consequência da maneira como Niemeyer empregou o concreto em seus projetos.

As possibilidades construtivas introduzidas pelo concreto armado, conforme dito anteriormente, foram sendo assimiladas aos poucos desde o seu aparecimento, a ponto de o sistema ter sido utilizado inicialmente, até pelo menos a década de 1930, majoritariamente de acordo com os mesmos princípios das construções em madeira e aço. Niemeyer, no entanto, não só compreendeu como explorou as possibilidades do material em projetos cuja expressão tectônica seria também a expressão de sua evolução como material de construção, cujo diferencial

²²⁶ TELLES, 1988, p. 72.

²²⁷ SEKLER, 1965. In: KEPES, 1965, p. 89.

viria da propriedade de monoliticidade que, reiterando, é a que caracteriza o material como essencialmente moderno²²⁸.

A parceria entre Cardozo e Niemeyer foi, possivelmente, o principal fator para esse entendimento, a ponto de Niemeyer se manifestar:

[...] o problema da evolução arquitetural me apaixonou tanto que me falta espaço nesta carta para dizer tudo o que deveria dizer sobre Joaquim Cardozo, este querido amigo. Contar como ele foi importante para o desenvolvimento dessa arquitetura mais leve que prefiro²²⁹.

E ainda:

Assim que comecei os estudos para a Catedral de Brasília, soube que meu projeto deveria, pela sua leveza, ilustrar a técnica contemporânea. [...] Com o concreto armado, que oferece infinitas possibilidades, sabia que podia ambicionar algo mais²³⁰.

Ao ambicionar algo mais, Niemeyer estaria indo em direção à criação de algo novo. Segundo Frampton, a tradição da tectônica é evoluir em uma permanente busca de reinterpretar o velho e criar o novo²³¹. Sendo assim, talvez se tenha aqui uma outra chave para a compreensão da expressão tectônica em projetos de Niemeyer.

Ainda segundo Frampton, a inegável evolução da tectônica, principalmente a partir do século XX, mostra também que apesar de sua significância variar de uma a outra situação, o que persiste ao longo do tempo é a representação e apresentação do objeto construído como produto de um processo de construção. Em suma, a materialização é fruto de um processo construtivo que é essencial “à presença fenomenológica de um trabalho arquitetônico e sua literal incorporação na forma”.²³²

A presença fenomenológica da Catedral de Brasília provoca uma inquietação justamente por sua condição de objeto construído, e não como desenho apenas. Condição que é resultante de um processo construtivo, mesmo que de difícil leitura.

²²⁸ FORTY, 2013, p. 34.

²²⁹ NIEMEYER; SUSSEKIND, 2002, p. 18.

²³⁰ NIEMEYER, 1998, p.2.

²³¹ FRAMPTON, 1995, p. 375.

²³² Ibid., p. 375.

A expressão tectônica da Catedral, vem primordialmente da síntese entre forma e estrutura que, como princípio projetual articulou as demais instâncias do projeto, além de servir como instrumento para promover certa experiência empática, possivelmente relacionada à percepção das colunas que Niemeyer imaginou “se elevando em um gesto de súplica e de comunicação”²³³. Expressão que já se anunciava condensada nas poucas linhas de seu croquis (Figura 58).

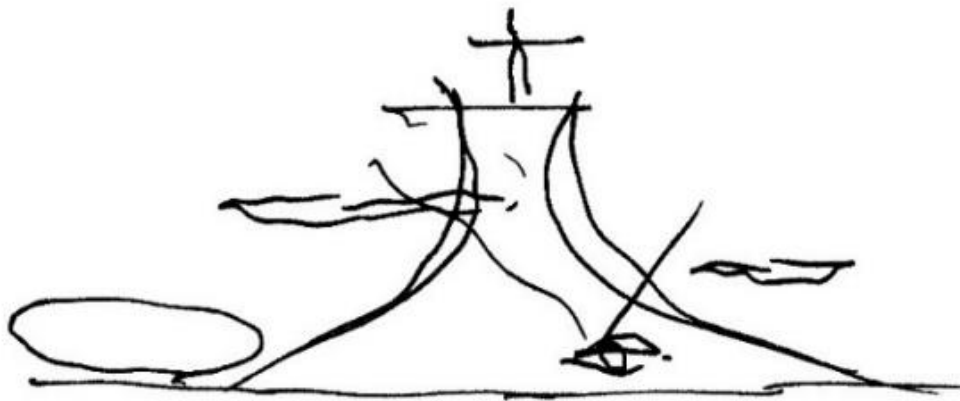


Figura 58: Catedral de Brasília. Croquis/Diagrama da fachada. Oscar Niemeyer.

Fonte: http://www.archdaily.com.br/br/01-14553/classicos-da-arquitetura-catedral-de-brasilia-oscar-niemeyer/14553_15286.

3.3.1

Imposição da forma

Joaquim Cardozo, engenheiro estrutural responsável pelo projeto da Catedral de Brasília, em discurso dirigido a formandos da Faculdade de Arquitetura do Recife, proferido em Olinda em 1962, faz uma crítica a uma certa arquitetura moderna que se baseava então na “exibição de formas arbitrárias, de superfícies imaginadas e sentidas como simples e originais expressões estéticas, formas independentes, emancipadas e puras, formas intuitivas e belas”²³⁴.

²³³ NIEMEYER, 1998, p. 2.

²³⁴ CARDOZO, 1962. In: MACEDO; SOBREIRA, 2009, p. 150.

Segundo Cardozo, contrapondo-se a essa criação arbitrária, estariam as construções de Brasília, onde havia “mais harmonia, mais sentido estético de escolha e de refinamento de proporção”²³⁵. Nesse sentido, a apropriação da estrutura na forma da Catedral de Brasília é uma síntese precisa formulada por Niemeyer e transcrita pelo jornalista Jaime Maurício na revista Habitat em 1958:

uma solução compacta, que se apresentasse externamente de qualquer ângulo com a mesma pureza. Vem daí a forma circular adotada, que além de garantir essa característica, oferece à estrutura uma disposição geométrica, racional e construtiva²³⁶.

Ao descrever a Catedral enfatizando as características de racionalidade e construtividade da estrutura, Niemeyer parece justificar o rigor que associa à forma livre desse projeto, ampliando o campo de compreensão do termo racionalidade. Não seria mais a racionalidade construtiva fundamentada pela ortogonalidade apenas, mas sim pela repetição de um único elemento estrutural, mesmo que de formato complexo.

O projeto, inicialmente, se constituiria de 21 elementos dispostos radialmente sobre uma base circular de 70,00m de diâmetro, com o intercolúnio vedado por placas de vidro. A nave seria rebaixada em 3,00m com relação terreno natural para que a entrada fosse feita por uma rampa a ser percorrida em ambiente de sombra. A chegada à nave seria revelada pelos efeitos da luz penetrando pelas placas de vidro, em contraste com o ambiente sombrio da rampa.

Como é possível constatar, durante o desenvolvimento do projeto foram feitas algumas alterações com relação às dimensões do edifício, que não prejudicaram sua concepção original. Um único elemento de seção transversal triangular, que varia conforme a altura de 31,00m, é repetido 16 vezes (não mais 21, como na concepção original) gerando a forma da Catedral de Brasília.

A repetição em geratriz radial desse único elemento estrutural, sem significado *a priori*, é capaz de materializar um edifício como produto de uma ação precisa e poética (Figura 59).

²³⁵CARDOSO, 1962. In: MACEDO; SOBREIRA, 2009, p. 150.

²³⁶ NIEMEYER, 1958, p. 2 et. seq.



Figura 59: Catedral de Brasília. Oscar Niemeyer.

Fonte: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/41/Cathedral_and_the_bell_tower.JPG

Posicionando os elementos radialmente e gerando intercolúnios regulares a serem preenchidos por placas translúcidas, Niemeyer definiu a estrutura que geraria a forma da Catedral que “podia, tal qual uma escultura monumental, traduzir uma ideia religiosa, uma prece”²³⁷.

A estrutura é composta de elementos curvos que procuram o equilíbrio escorando-se uns nos outros, desafiando a gravidade. Um único elemento gerador de forma e também de complexidade, que tem na imposição da forma a sua origem, pois a curva desses elementos, descritos por Cardozo como arcobotantes²³⁸, no caso invertidos, instiga a compreensão de sua função estrutural. A sustentação de uma laje de cobertura poderia induzir a compreensão desses elementos como sendo colunas. No entanto, colunas são peças projetadas para resistir a esforços preponderantes de compressão, onde a flexão atua secundariamente. No caso da Catedral o formato desses elementos implica em uma subversão conceitual, pois a relevância dos esforços de flexão que os solicitam é flagrante, o que implica uma incoerência funcional quanto à proposição de Niemeyer.

Para Cardozo, que enfrentou o problema determinado pela imposição da forma como inerente ao processo de elaboração do projeto estrutural, essa

²³⁷ NIEMEYER, 1998.

²³⁸ CARDOZO, 19--?. In: MACEDO; SOBREIRA, 2009, p. 179.

imposição se tratava de uma qualidade natural no projeto de arquitetura, pois caso a estabilidade da construção fosse o único critério direcionador do projeto, a forma estética poderia ser comprometida pela forma estática pois “o que existe de verdadeiro, é o ser a forma projetada pelo arquiteto uma forma estabelecida *a priori*, apenas *condicionada* a uma questão de estabilidade, mas nunca resultante *a posteriori* desta última”²³⁹.

No texto em que relata a construção de Brasília, ao descrever a concepção do sistema estrutural adotado para o projeto da Catedral, Cardozo resume a complexidade analítica que precisou enfrentar:

A estrutura da Catedral é constituída de seis elementos de forma estranhíssima, são verdadeiros arcobotantes, não mais escorando uma abóbada, mas escorando-se entre si: têm, ao rés do chão, um anel de tração, e, na função que fazem, ao alto, um anel de compressão, que fica escondido dentro dos próprios elementos construtivos da estrutura. Estes arcobotantes sustentam ao alto uma laje de cobertura de forma circular com 16 metros de diâmetro, assim como sustentarão lateralmente grande esquadria de vidros; a forma da catedral está teoricamente envolvida por uma série de superfícies tangentes: tronco de cone, zona de pseudoesfera, duas zonas de toxo (internas) e, na parte mais alta, uma zona de hiperboloide de uma folha, e de revolução²⁴⁰.

Consta que não restaram registros do trabalho elaborado por Cardozo²⁴¹. Aqui ele se refere a “seis elementos de forma estranhíssima”, quando na realidade são dezesseis. O projeto estrutural da Catedral pode ter se perdido, restando apenas a obra construída como testemunha do brilhantismo de seu trabalho. Não obstante, este fato não impede a realização de análises *a posteriori*, que servem de comprovação de sua inventividade, principalmente no que tange à criação de um modelo abstrato de análise estrutural, que venha a representar a estrutura construída.

No texto de Cardozo o modelo está exposto: no chão um anel de tração e no topo um anel de compressão servindo de escora aos arcobotantes invertidos que, na extremidade superior, sustentam uma laje de cobertura e lateralmente sustentam as esquadrias. A simplicidade do modelo idealizado por Cardozo comprova sua engenhosidade, porém não é possível extrair do texto como este modelo seria analisado estruturalmente, segundo as teorias conhecidas e utilizadas na época em que foi concebido.

²³⁹ CARDOZO, 1958. In: MACEDO; SOBREIRA, 2009, p. 136.

²⁴⁰ Ibid. p. 179.

²⁴¹ VASCONCELOS, 1992, p. 86.

Cardozo pode ter imaginado um modelo estrutural que se aproximasse de soluções conhecidas das teorias clássicas da hiperestática, na época em que elaborou o projeto. Uma consulta ao engenheiro e professor emérito da Universidade Federal da Bahia, Antônio Carlos dos Reis Laranjeiras, sobre um possível modelo utilizado por Cardozo para o enfrentamento do problema, resultou na seguinte resposta:

O modelo escolhido pode ter sido o de um simples pórtico plano, que se repetiria oito vezes, constituído por duas hastes curvas, opostas, e o anel superior como uma haste horizontal, interligando as hastes opostas. As duas hastes inclinadas seriam articuladas na extremidade inferior. A extremidade inferior teria vínculos, impedindo seu deslocamento horizontal e vertical.

Nesse pórtico, as cargas gravitacionais seriam simétricas e iguais, enquanto a ação do vento seria um carregamento assimétrico, horizontal, aplicado nas hastes. As hastes inclinadas seriam dimensionadas para as cargas gravitacionais e vento²⁴².

Tal modelo pode, de forma simplificada, ser representado a partir do próprio croquis de Niemeyer (Figura 60).

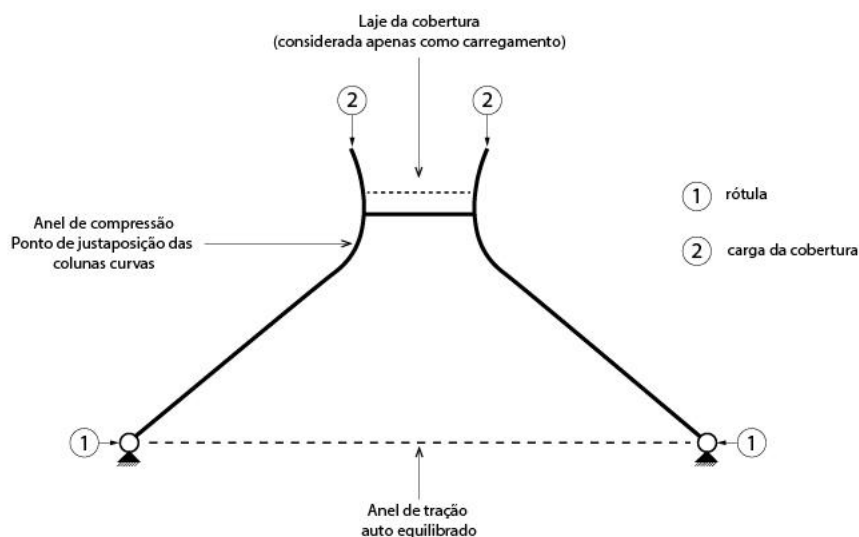


Figura 60: Catedral de Brasília. Esquema de pórtico plano idealizado sobre croquis de Niemeyer. Fonte: Antônio Carlos dos Reis Laranjeiras.

²⁴² LARANJEIRAS, 2017.

A escolha de um modelo simplificado seria a chave de solução do problema e estaria de acordo com as proposições de Nervi, contemporâneo de Cardozo, que, segundo Huxtable, considerava que:

O estágio formativo do design, durante o qual as características principais são definidas e suas qualidades e defeitos são determinados de uma vez por todas (assim como as características de um organismo são claramente definidas no embrião), não pode fazer uso da teoria estrutural e deve se basear na simplificação esquemática²⁴³.

Quanto à abordagem na criação de um modelo, Cardozo e Nervi possivelmente compreendiam a Engenharia Estrutural da mesma maneira, apesar de haver uma distinção fundamental no trabalho de ambos. A fundamentação purista de Nervi, cuja melhor forma estética viria de uma síntese com a melhor forma estática, diferia do entendimento de Cardozo, que aceitava as implicações provenientes da imposição da forma, como teve oportunidade de expressar no ensaio de 1958, *Forma Estática-Forma Estética*. Ainda assim, pode-se aproximar o trabalho de ambos no que diz respeito à simplificação inicial de um modelo de análise.

Recentemente, modelagens computacionais de estruturas espaciais e não apenas pórticos planos, como fez Cardozo, têm sido propostas para investigar o comportamento da estrutura da Catedral. Essas modelagens servem também para comparar os resultados obtidos pelos métodos de cálculo atuais com os resultados provenientes do modelo simplificado idealizado por Cardozo, como no trabalho desenvolvido por Pessoa e Clímaco²⁴⁴.

²⁴³ HUXTABLE, 1960, p. 17.

²⁴⁴ PESSOA; CLÍMACO, 2002. Para o desenvolvimento desse trabalho, por não haver registros do projeto estrutural da Catedral, foi necessário realizar uma pesquisa junto ao arquivo histórico da NOVACAP, Companhia Urbanizadora da Nova Capital, para obtenção dos dados disponíveis do projeto de arquitetura e da execução da obra, bem como entrevistar o arquiteto Carlos Magalhães, que participou da construção de Brasília e deu depoimento escrito aos autores.

Utilizando sofisticados programas de análise estrutural, como SAP2000 e ANSYS, os engenheiros desenvolveram um modelo que, aproximadamente, reproduz o edifício com todas as atribuições relativas às propriedades geométricas, mecânicas e materiais correspondentes a cada elemento estrutural.

A partir dos dados obtidos na pesquisa, a modelagem preparada para este trabalho reproduz um edifício composto por 16 elementos que se apoiam, a 20,00m de altura, em um anel monolítico, cujo diâmetro é de 13,00m e fica configurado nas seções justapostas desses elementos, no local onde se encontram antes de novamente se separarem em direção ao topo, que está a uma altura de 31,00m. Na base, nível da plataforma no piso do térreo próximo do nível da rua, os elementos se apoiam sobre um anel inferior cujo diâmetro interno é de 60,00m e externo de 64,00m, ou seja, a largura total do anel inferior é de 4,00m. Este anel é constituído por um conjunto de quatro anéis

Após a aplicação do carregamento e o processamento computacional do cálculo de esforços, os resultados obtidos nas modelagens recentes comprovaram a provável idealização de Cardozo. O anel superior se mostra realmente submetido a tensões de compressão e o anel inferior submetido a tensões de tração ²⁴⁵(Figura 61).

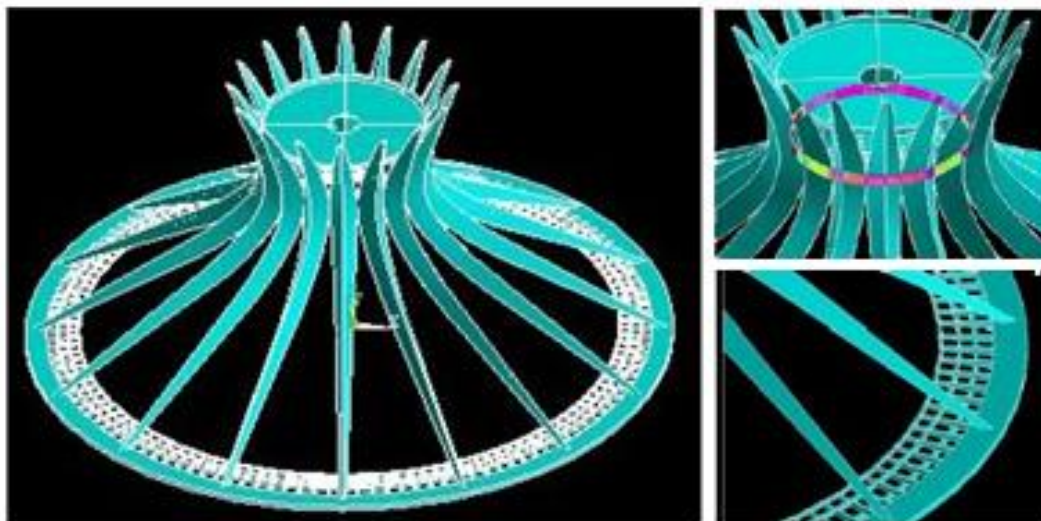


Figura 61: Catedral de Brasília.

Detalhes dos anéis de tração e compressão em modelo computacional.

Fonte: PESSOA; CLÍMACO

A estrutura construída, bem como a literatura especializada também fornecem dados adicionais à análise do projeto. A grelha que compõe o anel inferior de tração é fechada por lajes nas faces superior e inferior das vigas radiais e o conjunto se apoia em pilares-parede, que conformam os limites do subsolo²⁴⁶, conforme é possível constatar na representação do nível do subsolo da Catedral em planta baixa (Figura 62).

concêntricos, sendo que o anel externo possui 2,00m de largura. Todos são interligados radialmente por vigas formando uma grelha circular. A laje superior não faz parte do sistema de equilíbrio do conjunto e tem como função apenas a vedação do edifício, se apoiando nos pontos em que toca os elementos curvos.

²⁴⁵ PESSOA; CLÍMACO, 2002, p. 23.

²⁴⁶ Os pilares do subsolo estão regularmente espaçados radialmente a cada 6,00m, salvo na região das três entradas subterrâneas onde esse espaçamento é duplicado. Os pilares foram projetados para receber apenas cargas de compressão axiais às seções transversais, ou seja, os esforços de tração são auto equilibrados na própria grelha e não são transmitidos aos pilares do subsolo. Para a materialização desse sistema foi necessário providenciar a colocação de placas de neoprene, medindo 0,50m x 0,50m x 0,025m, posicionadas entre o fundo do anel inferior e o topo dos pilares-parede, de modo a garantir a transmissão apenas de esforços axiais de compressão, tanto para os pilares quanto para os tubulões que constituem as fundações.

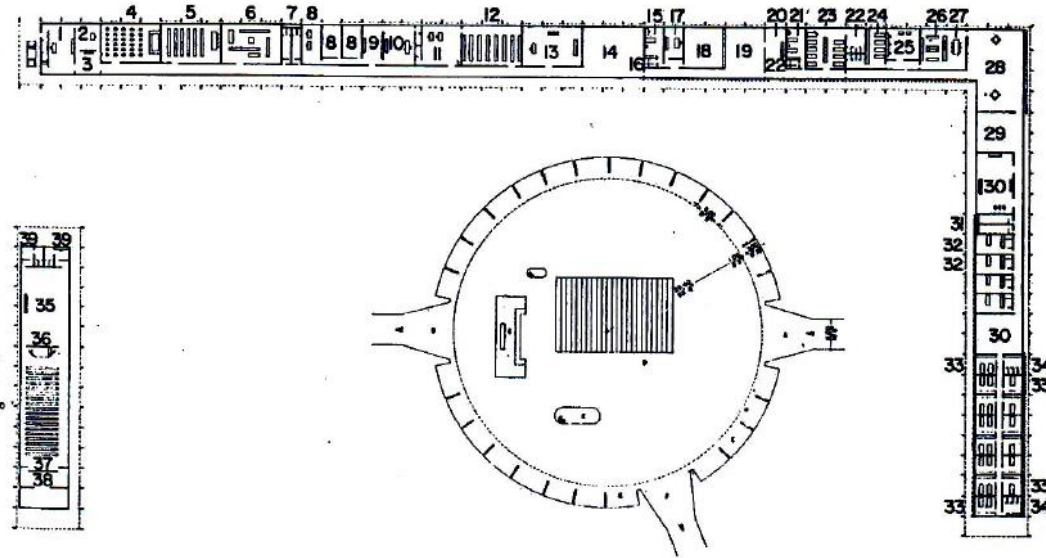


Figura 62: Catedral de Brasília. Planta baixa.
Fonte: VASCONCELOS, 1992, p. 105.

Os elementos curvos da superestrutura, as colunas curvas de Niemeyer, são especialmente interessantes. Sua seção transversal triangular, variável ao longo da altura começa maciça na base e, à medida que aumenta em direção ao topo, se transforma em uma seção vazada, executada pelo método do caixão perdido, pela necessidade de se reduzir o carregamento proveniente do peso próprio em função do acréscimo nas dimensões da seção. Dessa maneira foi possível diminuir as deformações esperadas após a retirada das fôrmas e do escoramento da estrutura.

Do ponto de vista funcional surge a principal contradição proveniente da imposição da forma. Os arcobotantes das construções medievais, com os quais Cardozo chega a fazer uma analogia, tinham como função estrutural equilibrar as forças de tração provenientes das construções de cúpulas e telhados, que atuavam nas paredes portantes das edificações. Para cumprir essa função, eram construídos com a forma arqueada, comprovadamente eficiente para suportar as forças de compressão que neles se desenvolviam como reação às forças de tração provenientes das cúpulas.

Alterando esse conceito, Niemeyer inverte a curvatura dos arcos no projeto da Catedral e, a partir desse gesto, submete os elementos a esforços preponderantes de flexão e não de compressão (Figuras 63 e 64).



Figura 63: Catedral de Brasília. Arcobotantes invertidos.

Fonte: <https://pixabay.com/pt/catedral-metropolitana-de-bras%C3%ADlia-1205602/>.



Figura 64: Catedral de York Minster, Inglaterra. Arcobotantes tradicionais.

Fonte: <http://www.historyasstories.com/wp-content/uploads/2015/01/H1.-Close-up-flying-buttresses-York-Minster.jpg>.

As colunas curvas de Niemeyer têm assim sua função subvertida uma vez que, devido à forma curva, à distância entre os apoios e à direção de incidência das cargas, surgem esforços de flexão que aproximam seu comportamento estrutural do comportamento de vigas.

Após a análise estrutural, cujo resultado se revela nos diagramas de momentos fletores e de esforços cortantes provenientes de modelagem computacional, a hipótese do comportamento estrutural inusitado, antecipada por Joaquim Cardozo, pode ser observada (Figuras 65 e 66).

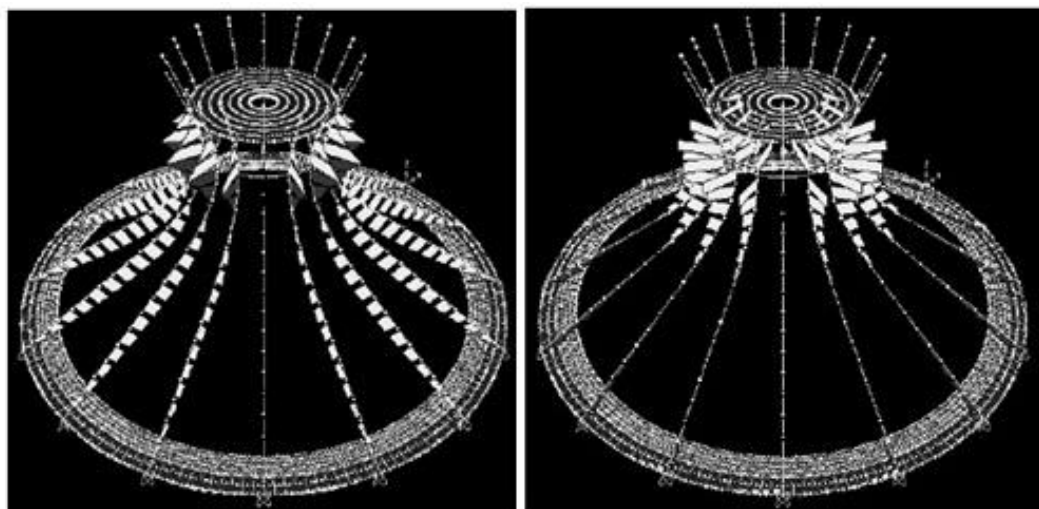


Figura 65: Catedral de Brasília: Diagrama de momentos fletores (SAP 2000).
Fonte: PESSOA; CLÍMACO, 2002.

Figura 66: Catedral de Brasília: Diagrama de esforços cortantes (SAP 2000).
Fonte: PESSOA; CLÍMACO, 2002.

O que se deduz dessa análise é que a imposição da forma influencia o comportamento da estrutura, e que, apesar de Cardozo inicialmente associar as “colunas curvas” de Niemeyer a arcobotantes invertidos, estas, na verdade, se comportam como vigas. Entretanto, no edifício da Catedral, independentemente do comportamento ou função, tudo é estrutura, como queria Niemeyer e como possibilitou Cardozo.

Na classificação de Howard o que se percebe aqui é que esta seria uma estrutura adequada, ou seja, aquela possível em atendimento a requisitos arquitetônicos específicos, de modo que se pode renunciar à máxima eficiência estrutural, uma vez que o que é melhor para a estrutura não é necessariamente melhor para a edificação como um todo. Proposição que Cardozo compreendia

bem, pela afirmação da primazia da forma estética sobre a forma estática, além de, com talento, saber como resolver.

No caso do projeto da Catedral de Brasília, a imposição da forma, longe de ser limite se mostrou uma fronteira que, ultrapassada, permitiu sua materialização.

3.3.2

Legibilidade estrutural

A forma imposta por Niemeyer obrigou Cardozo a formular um sistema estrutural que, apesar de fundamentado nos preceitos da simplicidade estática, pela provável associação daquela estrutura espacial a um conjunto de pórticos planos, escamoteia sua imediata compreensão. A legibilidade estrutural baseada no caminho racional das forças desaparece deixando ao sujeito incógnitas e mistérios que dificultam sua leitura, mas por outro lado instigam a imaginação. Ao se referir ao trabalho de Torroja e de Nervi, Sekler comenta:

O trabalho de Torroja e Nervi é muito adequado para nos lembrar da simples verdade de que a expressão tectônica poderosa não precisa estar vinculada a um sistema que remeta à interação entre horizontalidade e verticalidade relacionada ao pórtico²⁴⁷.

Possivelmente, ao associar a estrutura da Catedral, que é uma estrutura espacial, a um conjunto de pórticos planos, cujo modelo se distanciava dos pórticos clássicos, Cardozo pode ter feito uma transposição analógica que vai na direção do entendimento de Sekler, abandonando a interação entre horizontalidade e verticalidade. Na realidade, o fato do caminho das forças não ser observável em uma apreensão imediata não retira do objeto construído sua expressão tectônica, fato que também foi possível constatar na análise do bloco de exposições do MAM-Rio.

Diferentemente da legibilidade estrutural do MAM-Rio, que não se altera em função de suas propriedades de atravessamento e transparência, mas semelhante

²⁴⁷ SEKLER, 1965. In: KEPES, 1965, p. 94.

à FAU-USP, cuja legibilidade estrutural se dá em momentos distintos, na da Catedral de Brasília essa categoria se manifesta de diferentes maneiras, dependendo se é apreendida pelo lado externo ou interno do edifício. No lado externo, a base, constituída pelo anel de tração que recebe os esforços das “colunas curvas”, fica fora do campo de visibilidade do sujeito, dando a impressão que estas flutuam, imprimindo ao edifício o efeito de leveza pretendido por Niemeyer. O apoio superior configurado no anel de compressão também não é visível como tal, por estar situado no ponto de tangência entre os pilares, levando o sujeito a acreditar que estes apenas se tocam naquele trecho para em seguida voltarem a se separar, providenciando, um pouco acima desse ponto, o necessário apoio para a laje da cobertura que sustenta a cruz (Figura 67 e 68).



Figura 67: Catedral de Brasília. Detalhe das colunas e do anel de tração inferior.
Fonte: Arquivo público do DF.



Figura 68: Catedral de Brasília. Vista do espelho d'água.
Fonte: https://i.ytimg.com/vi/U9cLS_EgGnw/maxresdefault.jpg.

Já o interior da Catedral se constitui de um espaço livre de elementos estruturais, sendo perceptíveis apenas os elementos opacos e translúcidos do teto, agora não mais como elementos estruturais e sim como elementos de uma cobertura. A legibilidade do espaço baseada na tipologia de uma cobertura não coincide necessariamente com a legibilidade estrutural, pois ali todos os elementos cobrem o espaço mas apenas alguns são estruturais, apesar do sujeito não necessariamente distingui-los. Vistos pelo interior da Catedral a armação metálica das esquadrias e os vidros nelas fixados podem possivelmente induzir a uma leitura em que as colunas curvas formam com eles um único conjunto. A sensação de leveza induz à obliteração da estrutura portante.

Os anéis de tração na base e de compressão no topo também são igualmente ilegíveis estruturalmente, a partir do interior do edifício. O que se percebe é apenas a potência de criação de um enorme espaço interno a partir da construção de uma cobertura, sem configuração explicitamente estrutural, que não parece descarregar seu peso nas paredes da periferia, ao contrário, transmite a sensação de flutuação pretendida por Niemeyer (Figura 69).

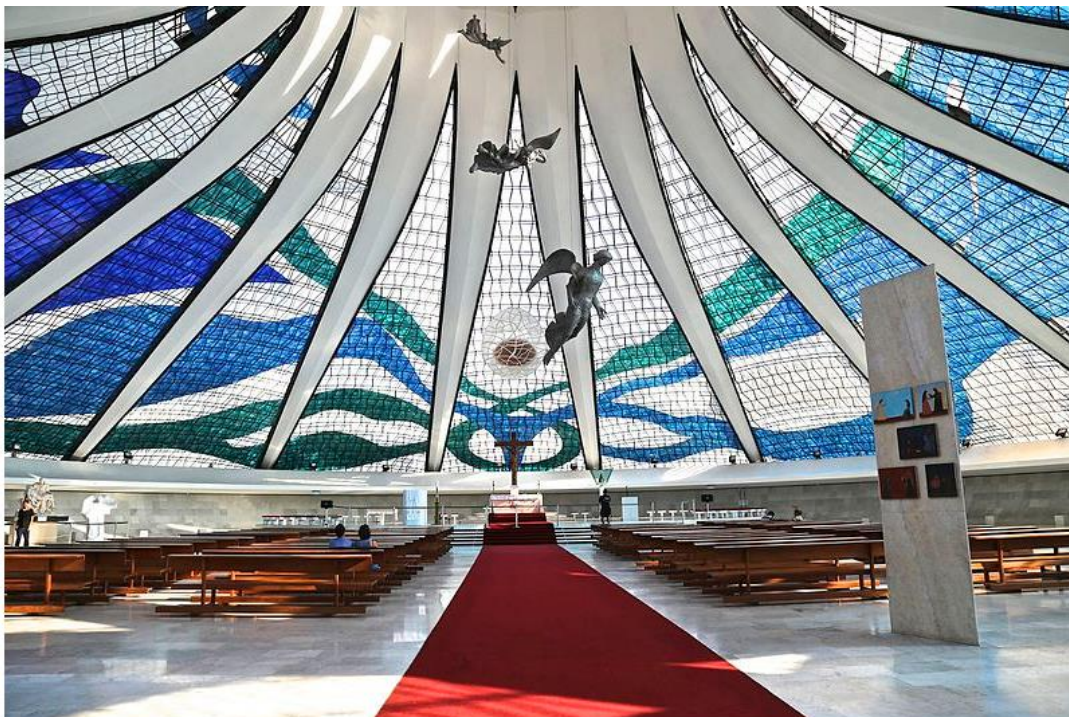


Figura 69: Catedral de Brasília. Interior da nave.

Fonte: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Catedral_Moderna.JPG.

Quanto à legibilidade estrutural, portanto, o edifício da Catedral de Brasília é ambíguo. Externamente os elementos que se elevam em curva podem ser lidos estruturalmente, mesmo que pareçam flutuar, pois é nítida sua condição de suporte para a laje da cobertura. Por sua vez, internamente, a estrutura é menos perceptível como estrutura funcional, de característica portante.

Wisnik ressalta que:

Determinante porém invisível, o esforço técnico em Niemeyer cede espaço à aparição de formas leves, estáveis, surpreendentemente sustentáveis, e por isso tidas frequentemente como surrealistas²⁴⁸.

O esforço técnico a que se refere Wisnik deveria ser entendido em toda a abrangência do termo, onde, entre outros aspectos, estariam incluídos o projeto estrutural e a legibilidade estrutural dele proveniente, além do próprio processo construtivo. O esforço técnico, em projetos ancorados no princípio da forma-estrutura, começa no projeto da estrutura portante, que é resultado da imposição da forma.

Essa imposição dará origem, por meio de uma operação formal, à criação de um modelo estrutural fundamentado pelas propriedades físicas e mecânicas dos materiais que o constituem. O projeto estrutural, por sua vez, determina um processo construtivo específico, configurando, portanto, uma interdependência existente nas etapas do processo, e todo esse conjunto se traduz em esforço técnico.

A materialização da estrutura é a evidência da materialização desse esforço técnico, que, portanto, não pode ser invisível. No caso da Catedral, esse esforço técnico se mostra por meio da legibilidade estrutural que se dá no seu exterior, ficando o interior reservado para a experiência das formas leves e surpreendentemente sustentáveis mencionadas por Wisnik.

A expressão tectônica, seja na Catedral de Brasília ou em outros projetos de Niemeyer, pode ser objeto de uma certa controvérsia, exemplificada aqui pela afirmação de Wisnik ao comentar que Niemeyer não evidencia os esforços tectônicos da construção²⁴⁹, o que poderia, no limite, configurar algumas de suas edificações como atectônicas.

²⁴⁸ WISNIK, 2004. In: ANDREOLI; FORTY, 2004, p. 33.

²⁴⁹ Ibid, p. 48.

A qualificação do que seria uma qualidade atectônica vem de um conceito formulado por Sekler quando escreveu um ensaio analisando a casa Stoclet construída em 1911, projetada pelo arquiteto Joseph Hoffman (1870-1956)²⁵⁰. Sekler descreve como atectônica a maneira pela qual a interação expressiva de carga e suporte na arquitetura é visualmente negligenciada ou obscurecida²⁵¹.

De fato, por esse ponto de vista, a expressividade tectônica proveniente da fusão entre a forma e a estrutura portante na Catedral de Brasília perde sua força, pela impossibilidade de identificação da interação expressiva de carga e suporte.

Porém, ainda segundo Sekler, a expressão tectônica “pode ser deliberadamente pouco clara, deixando o observador maravilhado diante de vastas expansões de matéria pairando aparentemente sem esforço sobre um vazio”²⁵². Ou seja, a expressão tectônica tem gradações, que podem ir do exagero à falta de clareza, e pode se manifestar por outros meios que não a exclusiva transmissão de forças em direção a seus apoios, de modo simplificado e convencional²⁵³.

Telles argumenta que Niemeyer não deposita na matéria “nenhuma carga expressiva assim como retira dela qualquer tensão estrutural, fazendo, ao contrário, que a presença de seu desenho consiga desviar, esconder e quase sublimar o esforço necessário à sua consecução”²⁵⁴.

O fato da legibilidade estrutural, que se dá no edifício construído e, portanto, na matéria, não estar claramente amparada na apreensão visual do caminho das forças, não implica que as tensões estruturais sejam retiradas e o esforço necessário à sua consecução seja sublimado, como alega Telles²⁵⁵.

²⁵⁰ SEKLER, 1967, p. 230-231.

²⁵¹ FRAMPTON, 195, p. 20.

²⁵² SEKLER, 1965. In: KEPES, 1965, p.94.

²⁵³ Cf. capítulo 2.

²⁵⁴ TELLES, 1988, p. 79.

²⁵⁵ De fato, o conceito estrutural implementado pela construção estará sempre presente na matéria construída, seja pelo conceito da estrutura independente formulado por Perronet e desenvolvido por Navier, seja nas mais arcaicas construções, pois não há construção sem estrutura.

Qualquer objeto construído está submetido, pelo menos, às forças correspondentes à lei da gravidade, e a possibilidade desse objeto se manter elevado do solo, e em equilíbrio, indica que as forças que ali atuam caminham em direção ao centro de gravidade da terra através de sua matéria constituinte. As forças podem caminhar por massas ou por elementos lineares, em objetos construídos com diferentes materiais, cujas características físicas e mecânicas determinam suas resistências a essas forças, configurando, portanto, tipologias estruturais distintas. Foram assim as estruturas na Antiguidade, na Idade Média e no Renascimento. O conceito de estruturas mudou apenas a partir do Iluminismo, quando surgiu a ideia da estrutura independente, formulada por Perronet, como visto no capítulo 2 desse trabalho. Não há, portanto, construção sem estrutura.

Com relação à expressão tectônica, no caso específico da Catedral, a legibilidade estrutural pode ainda ter sido fundamentalmente alterada. A Catedral foi inaugurada em concreto aparente, mesma materialidade do MAM-Rio e do edifício da FAU-USP, e assim permaneceu por 17 anos, quando em 1987 foram feitas intervenções no edifício para substituição dos vidros incolores por outros com desenhos coloridos e, nessa intervenção, a estrutura de concreto foi pintada de branco.

Antes da pintura, o fato do concreto ser aparente, além de também ser universalmente conhecido como um material estrutural, e, por isso, induzir a legibilidade estrutural a ele associada, já seria uma expressão tectônica específica pela expressão da técnica vinculada àquela materialidade. A pintura branca retira das colunas curvas sua potência estrutural e consequentemente sua legibilidade imediata enquanto elementos de uma estrutura portante, sobretudo internamente.

Quando Niemeyer pensou uma catedral que podia “tal qual uma escultura monumental, traduzir uma ideia religiosa, uma prece”²⁵⁶, e projetou sobre a plataforma uma cobertura “circular, com colunas curvas se elevando em um gesto de súplica e de comunicação”²⁵⁷, estava também chamando atenção para a associação desses elementos a um gesto simbólico.

Elementos estruturais de um modo geral não possuem qualquer significado *a priori*, a menos de significados que remetam às suas qualidades estruturais intrínsecas. Sekler se refere a uma abordagem semelhante adotada por Frank Lloyd Wright, quando explicou a forma de sua Unitarian Church, inaugurada em 1951, em Wisconsin, Estados Unidos, aludindo às mãos unidas em oração (Figura 70). Para Sekler, quando Wright se manifestou ele estava ilustrando a expressão de “reverência e aspiração” e, por isso, não falava de estrutura mas sim de tectônica²⁵⁸.

²⁵⁶ NIEMEYER, 1968.

²⁵⁷ Id., 1998.

²⁵⁸ SEKLER, 1965. In: KEPES, 1965, p. 94.



Figura 70: First Unitarian Church. Wisconsin. Frank Lloyd Wright.
 Fonte: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/89/1st-Unitarian.jpg>

Portanto, Niemeyer manifesta, na descrição que faz da Catedral, uma intenção que se traduziria no mesmo tipo de expressão tectônica que Sekler constata no projeto da Unitarian Church, de Wright, que é a expressão tectônica que se dá pela experiência empática.

A legibilidade estrutural como expressão tectônica pode ser considerada aqui, portanto, secundária, ficando para o sujeito a expressão tectônica proveniente da experiência empática e o impacto fenomenológico da forma como portadora da mensagem de transcendência proposta por Niemeyer.

3.3.3

Materialidade estrutural

Niemeyer era um admirador do concreto armado e com ele constituiu sua arquitetura. Com a intenção de divulgar seu pensamento sobre o problema da forma na arquitetura escreve:

A forma plástica evoluiu na arquitetura em função das novas técnicas e dos novos materiais que lhe dão aspectos diferentes e inovadores. Primeiro, foram as formas robustas que as construções em pedra e argila obrigavam; depois, surgiram as abóbadas, os arcos e as ogivas, os vãos imensos, as formas livres e inesperadas que o concreto permite e os temas modernos solicitam²⁵⁹.

Como dito anteriormente, Niemeyer compreendeu como poucos o potencial do concreto armado como material estrutural. A propriedade da monoliticidade foi por ele explorada em alguns projetos que realizou no início de sua carreira, como a Igreja da Pampulha, mas foi em Brasília que explorou a propriedade na direção do seu limite. Em um ensaio sobre a forma, referindo-se às possibilidades do material, Niemeyer escreveu que “não podia compreender como, na época do concreto armado que tudo oferecia, a arquitetura contemporânea permanecesse com um vocabulário frio e repetido, incapaz de exprimir aquele sistema em toda a sua grandeza e plenitude”²⁶⁰.

As “formas livres e inesperadas” se materializaram no projeto da Catedral de Brasília e a questão que se coloca com relação à materialidade estrutural desse edifício é ambígua. Apesar da fusão da forma com a estrutura gerar um espaço que a ela se incorpora de maneira indissociável, os painéis de vidro, que preenchem os vazios entre os elementos estruturais, fazem com que o sistema coplanar de vedação esteja unido à materialidade estrutural. Situação bem diferente em relação aos pórticos da fachada da FAU-USP, e também aos pórticos do bloco de exposições MAM-Rio, onde as estruturas de concreto estão isoladas dos planos de vedação.

Em um movimento ascendente a partir do piso da esplanada observa-se o concreto em agregação no sentido de enfatizar sua monoliticidade configurada no ponto de tangência dos elementos estruturais, onde está o anel de compressão que os suporta. Continuando seu movimento ascendente, a partir desse anel os elementos voltam a se desagregar em um movimento de clivagem até o topo, que poderia continuar virtualmente até o céu. Em um mesmo edifício, portanto, Niemeyer apresenta possibilidades contraditórias com relação à materialidade do concreto que, dependendo de sua apropriação formal, pode ser a representação do peso e da densidade ou, contraditoriamente, da leveza. No edifício da Catedral

²⁵⁹ NIEMEYER, 1978, p. 16.

²⁶⁰ Ibid, p. 20.

ambas as qualidades poderiam ser observadas simultânea e contraditoriamente, leveza na base e peso no topo, não fosse a intervenção promovida em 1987.

A materialidade da estrutura da Catedral, após essa intervenção, foi bastante alterada. É possível constatar em foto de 1970, ou seja, na época de sua inauguração, que os elementos estruturais foram construídos em concreto aparente (Figura 71).



Figura 71: Catedral de Brasília. Concreto aparente, foto de 1972.

Fonte: <http://www.archdaily.com.br/br/01-14553/classicos-da-arquitetura-catedral-de-brasilia-oscar-niemeyer>.

Essa materialidade foi conseguida por uma carpintaria de fôrmas extremamente artesanal²⁶¹ e o sistema de escoramento foi executado em estrutura metálica tubular, que necessitou, ao contrário das construções usuais, de fundação própria em estacas inclinadas solidarizadas por blocos de concreto, que, após a retirada das fôrmas e do próprio escoramento, foram cortadas no nível do piso do subsolo e ficaram perdidas no terreno, conforme é possível observar no croquis

²⁶¹ Conforme depoimento do arquiteto Carlos Magalhães (1933-), a geometria dos pilares era tão complexa que foi necessário desenhar no canteiro de obras, em escala 1:1, um protótipo que servisse de modelo, para a partir dele montar aproximadamente 20 cortes transversais que pudessem auxiliar a execução de fôrmas de madeira*.

* PESSOA; CLÍMACO, 2002, p. 25.

realizado pelo arquiteto Carlos Magalhães, responsável técnico pela obra, na época funcionário da NOVACAP²⁶² (Figura 72).

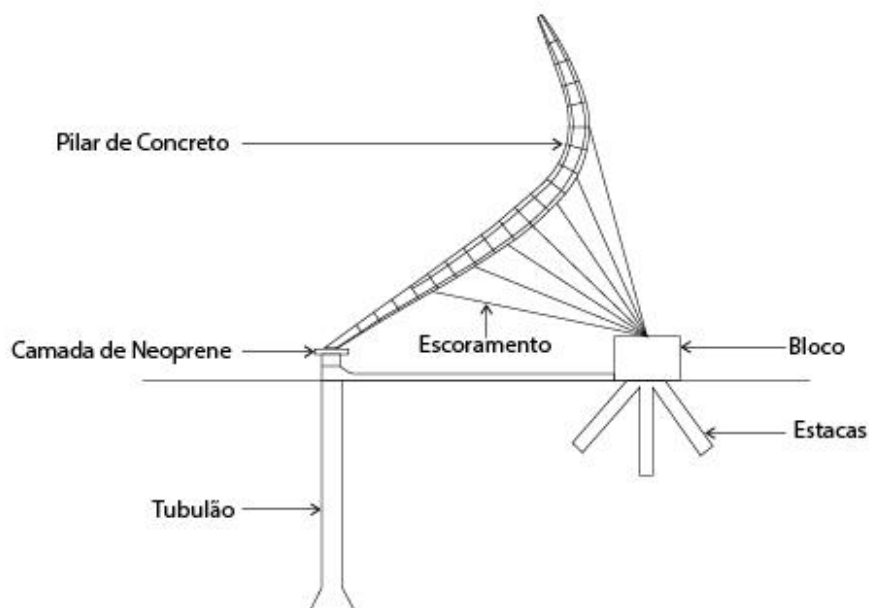


Figura 72: Catedral de Brasília. Detalhe esquemático do sistema de escoramento das colunas curvas.
Fonte: MAGALHÃES, 2001. In: PESSOA; CLÍMACO, 2002, p. 24.

É possível observar os blocos que solidarizavam as estacas inclinadas, que deram apoio ao sistema de escoramento antes de sua demolição, em uma fotografia tirada por volta de 1959, na qual Niemeyer aparece no interior da Catedral, em fase anterior à execução do subsolo (Figura 73).

²⁶² Companhia Urbanizadora da Nova Capital do Brasil.

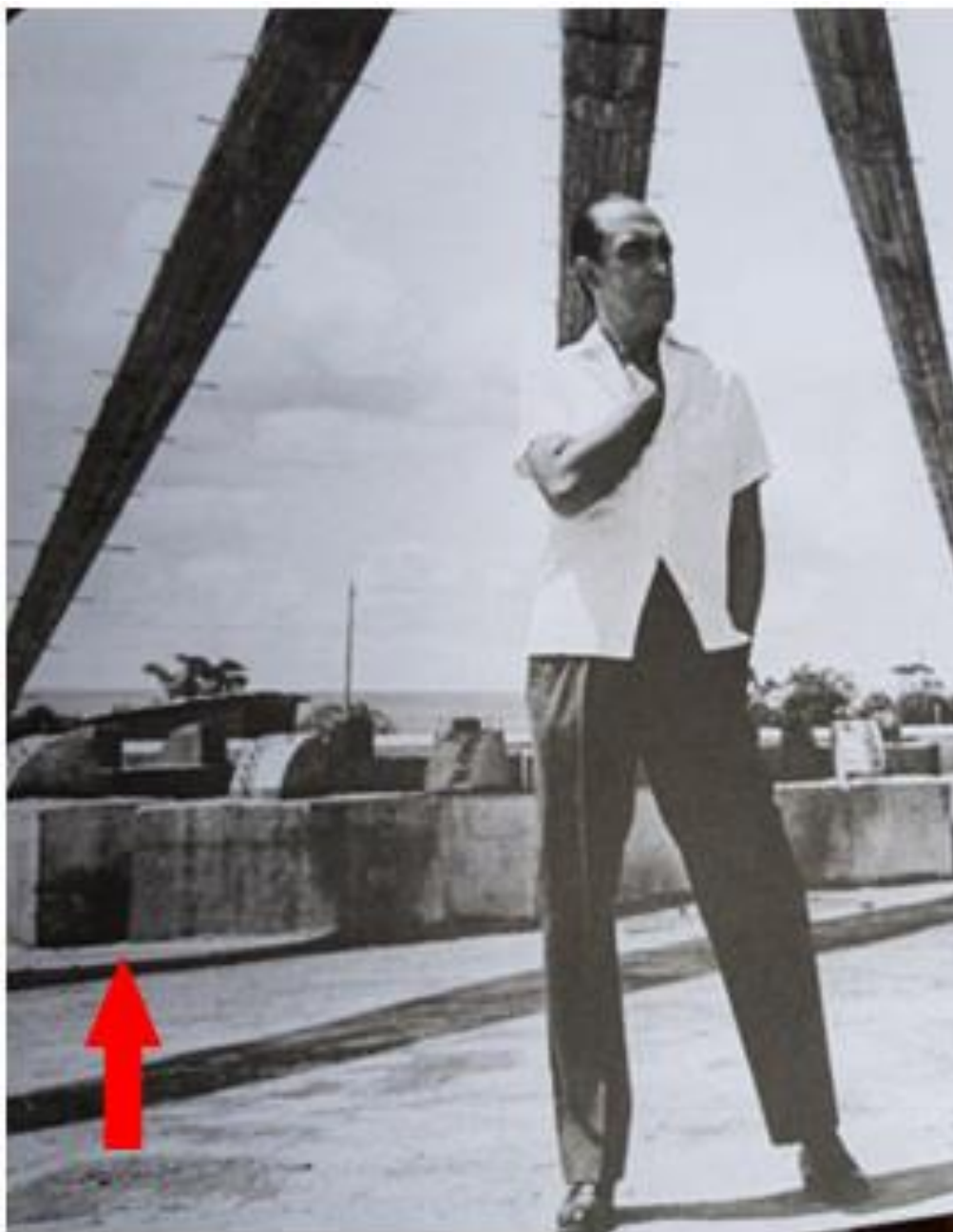


Figura 73: Catedral de Brasília. Niemeyer no interior da construção, *circa* 1959.

Fonte: Arquivo Manchete. In: COSTA, 2017, p. 2.

É interessante notar a diferença entre a materialidade estrutural em concreto aparente e a atual configuração da estrutura pintada de branco. O concreto aparente comunica a existência de uma estrutura portante, mesmo que sua legibilidade não seja de imediata compreensão, uma vez que não ficam claros o caminho das forças, as tensões que se desenvolvem nos elementos estruturais e as condições que promovem o equilíbrio do conjunto.

A Catedral de Brasília construída em concreto aparente não é a mesma Catedral de Brasília pintada de branco. A pintura branca retira a potência estrutural

do edifício, subtraindo a comunicação de um processo construtivo, conferindo-lhe o que Telles caracteriza como “a dissolução da matéria pelo esquecimento da técnica no olhar contemplativo”²⁶³.

A materialidade estrutural, nesse caso, comunica ideias distintas que alteram não somente o projeto como um todo, mas também sua relação com as pessoas e com a cidade (Figuras 74 e 75).



Figura 74: Catedral de Brasília. Concreto aparente, foto de 1970.

Fonte: <http://www.archdaily.com.br/br/01-14553/classicos-da-arquitetura-catedral-de-brasilia-oscar-niemeyer>.

Figura 75: Catedral de Brasília. Pintura branca, foto de depois de 1987.

Fonte: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/98/Catedral_BSB_lomd_01.jpg.

A Catedral em concreto aparente, de certa maneira, se coloca no espaço como a versão em negativo da Catedral pintada de branco. A primeira informa a potência da implementação do conceito forma-estrutura como matriz de expressão tectônica, proveniente da interação entre Arquitetura e Engenharia estrutural, onde o concreto aparente comunica a presença da técnica. A segunda estará mais próxima da esfera simbólica, onde a característica escultórica pretendida pode estar mais evidente afastando a noção de construção tão presente no concreto aparente, para enfatizar a experiência de transcendência pretendida por Niemeyer quando, reiterando, descreve o projeto que “podia, tal qual uma escultura monumental, traduzir uma ideia religiosa, uma prece”²⁶⁴.

De qualquer maneira, em ambas as configurações, a estrutura da Catedral se manifesta como matriz de expressão tectônica, seja pela construção e/ou pela experiência empática. Além disso a estrutura exposta e incorporada na arquitetura,

²⁶³ TELLES, 1992. In: GUERRA, 2010, p. 261.

²⁶⁴ NIEMEYER, 1998.

em qualquer das duas versões, mantém visível a lógica moldável e indivisível do concreto armado²⁶⁵, propriedade monolítica de sua materialidade, apropriada por Niemeyer em inúmeros projetos de sua autoria.

Brandão extrai do ensaio de Heidegger *A Origem da Obra de Arte*, o que diferencia o objeto artístico do objeto instrumental. Para Heidegger, segundo Brandão, a matéria tende a desaparecer no objeto instrumental onde, por exemplo, “a pedra desaparece no calçamento, o concreto desaparece na laje, o aço desaparece na tesoura [...]”²⁶⁶. Já na obra de arte a matéria se revela, e é assim que Niemeyer lida com o concreto, quando extrai do material toda a potência de sua plasticidade unida à sua capacidade resistente como material estrutural.

Nos dois casos, seja a Catedral “de concreto aparente”, seja a Catedral “pintada de branco”, se manifesta sobretudo o que a arquitetura significava para Le Corbusier ao afirmar: “A aqueles que, absorvidos agora pelo problema da “máquina de morar” declaravam: “a arquitetura é servir”, nós respondemos: “a arquitetura é emocionar”²⁶⁷.

E também, principalmente, o que significava para Niemeyer. Ao expor seu pensamento com relação à forma para se defender de argumentos que o acusavam de um formalismo vazio, e esclarecer o que considerava um equívoco lamentável ampliado pelo funcionalismo, Niemeyer escreveu: “Então, você tem que aceitar que quando uma forma cria beleza ela tem uma função, e das mais importantes na arquitetura”²⁶⁸.

²⁶⁵ WISNIK, 2004. In: ANDREOLI; FORTY, p. 30.

²⁶⁶ BRANDÃO, 2000, p. 3.

²⁶⁷ LE CORBUSIER, 2014, p. XXV.

²⁶⁸ NIEMEYER, 1978, p. 54.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A ideia para essa pesquisa surgiu de uma inquietação gerada pela presença da estrutura como uma evidência em alguns projetos de arquitetura.

Durante sua realização foram selecionados três projetos cujas análises serviram como instrumento para a compreensão dos motivos desse sentimento. Esses projetos, aparentemente, teriam algo em comum, sem se saber exatamente o quê, exceto a certeza de que neles a estrutura se evidenciava na arquitetura. Porém, para que a pesquisa pudesse efetivamente se desenvolver, colocou-se como desafio necessário buscar uma qualidade comum que, em princípio, seria a interseção entre tais projetos. A caracterização de um conceito que pudesse unir a forma arquitetônica com a estrutura portante foi então o que surgiu, como uma ideia ainda a ser elaborada. Ou seja, inicialmente o conceito forma-estrutura era apenas a indicação de um caminho.

Foi então preciso vencer um primeiro obstáculo, configurado pela formulação conceitual a embasar a pesquisa, pela suspeita de que a partir da compreensão dessa abstração o passo seguinte pudesse ser dado, pois os projetos pareciam ter, ainda, alguma coisa a mais em comum.

Os conceitos de forma e estrutura são conceitos consolidados, de maneira específica, nos campos da Arquitetura e da Engenharia Estrutural. Nesse trabalho buscou-se então associá-los para caracterização de um conceito autônomo, com o objetivo de discutir sua implementação como princípio projetual, de modo a promover a compreensão de como esses campos se entrelaçaram e evoluíram ao ponto de originar projetos como aqueles que instigaram a realização da pesquisa.

A contribuição dos arquitetos e engenheiros que participaram dessa evolução foi sempre um foco do trabalho, considerando-se o princípio de que o conhecimento é produzido por pessoas, em contextos históricos específicos. Desta forma, foi possível resgatar, para o campo da Arquitetura, os nomes de alguns dos engenheiros que contribuíram para o desenvolvimento da formulação de teorias para a Engenharia Estrutural, para o desenvolvimento do concreto armado como material de construção, e para a evolução da própria Arquitetura, no Brasil e alhures.

Tanto a definição do conceito de forma-estrutura, quanto a caracterização das categorias criadas para a análise dos projetos, se mostraram ferramentas bastante adequadas devido ao seu caráter fortemente transdisciplinar. Caráter que se manifesta nos próprios processos de desenvolvimento dos projetos selecionados, por meio dos quais foi possível constatar o diálogo existente entre a Arquitetura e a Engenharia Estrutural.

No decorrer da pesquisa surgiu então o “algo a mais” que se suspeitava existir. A ideia de um impacto emocional provocado pelas estruturas veio inicialmente do arquiteto H. Seymour Howard Jr. A partir da leitura de sua classificação para as estruturas foi possível entender a inquietação que certas edificações provocam no sujeito, e, no caso dessa pesquisa, tudo começou pela inquietação, mesmo sem se saber exatamente o que significava e que caminhos deveriam ser seguidos. Ao texto de Howard somaram-se os de Eduard Franz Sekler e Kenneth Frampton que abordam o conceito de tectônica e, a partir daí, fechou-se o círculo para que a expressão tectônica pudesse ser abordada também a partir do impacto emocional e da experiência empática, além da conhecida proposição vinculada aos processos construtivos e ao caminho das cargas.

Todavia, foi a própria análise dos projetos que abriu as portas para o que se procurava. Percebeu-se nas análises que, além da estrutura evidenciada na forma arquitetônica, o que os projetos tinham em comum era uma forte expressão tectônica e, mais do que isso apenas, o conceito de forma-estrutura, ali materializado pela construção, seria matriz dessa expressão.

No caso dos projetos aqui analisados foram muitas as relações que surgiram ao longo da pesquisa, porém, o que chamou mais atenção foi a maneira como a expressão tectônica veio a se manifestar por meio das categorias de análise elaboradas especificamente para esse trabalho. Em alguns casos, pela exposição didática e racional dos processos construtivos, em outros pela exposição do caminho das cargas, outros ainda pela experiência empática e sua relação com os valores ontológico e epistêmico agregados às edificações, e também pelo discurso arquitetônico que nelas se manifesta.

Constatou-se que, nos três projetos, a presença do conceito de forma-estrutura como matriz de expressão tectônica se confirmou, pois foi por meio desse princípio projetual que os edifícios foram materializados, cada qual com sua singularidade. Cada uma das categorias elencadas para análise dos projetos –

imposição da forma, legibilidade estrutural e materialidade estrutural – possibilitou a observação de diferentes aspectos da expressão tectônica, que se manifestou por uma leitura de caminho de forças, pelo processo construtivo e/ou pela experiência empática, todas, porém, originadas pela fusão da estrutura espacial arquitetônica com a estrutura portante na materialização da forma.

A pesquisa, porém, mais do que a uma conclusão, levou a um novo ponto de partida, pois ao se chegar ao fim, o que se percebe é a vontade de recomeçar, ou melhor, de continuar pelo campo de investigação que foi se revelando ao longo do trabalho: forma-estrutura como matriz de expressão tectônica.

No artigo intitulado *Structure, Construction, Tectonics*, escrito em 1965, Sekler afirma que:

[...] dos três conceitos, tectônica é o mais autonomamente arquitetônico e que, apesar do arquiteto não necessariamente controlar as condições da estrutura e da construção tão completamente quanto gostaria, ele é o mestre inquestionável da expressão tectônica”²⁶⁹.

Já Frampton afirma que “a tectônica, por sua natureza, transcende a lógica do cálculo, mas qualquer consideração da cultura construtiva moderna deve reconhecer o papel crucial da Engenharia Estrutural”.²⁷⁰

A associação das proposições de Sekler e Frampton traduzem o caráter transdisciplinar que impregnou essa pesquisa e que, necessariamente, deve se manter em investigações futuras.

As décadas de 1950 a 1970, período em que se inscrevem os projetos escolhidos para a pesquisa, foram permeadas pela “ideologia do desenvolvimento”²⁷¹ no Brasil, que apesar de não ter se concretizado plenamente nos anos subsequentes, cristalizou-se como testemunha de uma intenção naqueles projetos. Seja no caso do MAM-Rio, da FAU-USP ou da Catedral de Brasília, os preceitos do “ideal modernista de se realizar uma arquitetura socialmente transformadora”²⁷² estão conjugados a um arrojo técnico e construtivo incomuns para a época, que se fez possível pela associação da Arquitetura com a Engenharia Estrutural, pelo princípio projetual da forma-estrutura. A expressão tectônica proveniente dessa matriz nesses projetos manifesta uma condição ontológica e, por

²⁶⁹ SEKLER, 1965. In: KEPES, 1965, p.94.

²⁷⁰ FRAMPTON, 1995, p. 335.

²⁷¹ ANDREOLI; FORTY, 2004, p. 17.

²⁷² Ibid, p. 17.

isso, epistêmica, que se mostra como um retrato da época, que, no entanto, é sempre atualizado pelo valor de permanência agregado a esses edifícios, que continua fazendo deles instigantes objetos de pesquisa.

A forma-estrutura como conceito e princípio projetual no momento da concepção arquitetônica, que opera como matriz de expressão tectônica do objeto construído, pode, portanto, se revelar em um universo de projetos espalhados em várias partes do mundo e, particularmente, no Brasil, onde nas décadas de 1950 a 1970 surgiram vários projetos que justificariam uma investigação aprofundada por essa ótica.

Referências bibliográficas

- AGUIAR, M.; FAVERO, M. Estrutura: a criação de um conceito para construção. **Revista Concreto & Construções**, São Paulo, n.88, p. 53-58, out. /dez. 2017.
- ANDREOLI, E.; FORTY, A. **Arquitetura Moderna Brasileira**. London: Phaidon, 2004.
- ARGAN, G. C. As Fontes da Arte Moderna. In: _____. **A arte moderna na Europa: de Hogarth a Picasso**. São Paulo: Companhia das Letras, 2010. p.426-437.
- ARTIGAS, J. B. V. **Caminhos da Arquitetura**. São Paulo: Lech, 1981.
- _____. ALBUQUERQUE, R.P (Coord.). **Caderno dos riscos originais: projeto do edifício da FAU-USP na Cidade Universitária**; São Paulo: FAU-USP, 1998.
- BAKER, G.H. **Le Corbusier: uma análise da forma**. São Paulo: Martins Fontes, 1998.
- BANHAM, R. The New Brutalism. **Architectural Review**, London, p. 354-361 December, 1955.
- BAROSSO, A. C. (Org.). **O edifício da FAU-USP de Vilanova Artigas**. São Paulo: Editora da Cidade, 2016.
- BASTOS, M. A. J.; ZEIN, R. V. **Brasil: Arquiteturas após 1950**. São Paulo: Perspectiva, 2015.
- BONDUKI, N. G. (Org.). **Afonso Eduardo Reidy**. Lisboa: Blau, 1999.
- BRANDÃO, C. A. L. Linguagem e Arquitetura: O problema do conceito. **Revista Interpretar**, Belo Horizonte, v.1, nº1, novembro, 2000. Disponível em:<<https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents>>. Acesso em: 05 mar. 2018.
- BRUAND, Y. **Arquitetura contemporânea no Brasil**. São Paulo: Perspectiva, 2012.
- CARDOZO, J. A construção de Brasília. In: MACEDO, D. M.; SOBREIRA, F. J. A. (Org.). **Forma Estática-Forma Estética: ensaios de Joaquim Cardozo sobre arquitetura e engenharia**. Brasília: Edições Câmara, 2009. p. 177-179.
- _____. Forma Estática-Forma Estética. In: MACEDO, D. M.; SOBREIRA, F. J. A. (Org.). **Forma Estática-Forma Estética: ensaios de Joaquim Cardozo sobre arquitetura e engenharia**. Brasília: Edições Câmara, 2009. p. 135-136.
- _____. Algumas ideias novas sobre Arquitetura. In: MACEDO, D. M.; SOBREIRA, F. J. A. (Org.). **Forma Estática-Forma Estética: ensaios de Joaquim Cardozo sobre arquitetura e engenharia**. Brasília: Edições Câmara, 2009. p. 147-152.

COMAS, C. E. D. *Arquitetura Moderna, Estilo Corbu, Pavilhão Brasileiro*. In: GUERRA, A. (Org.). **Textos fundamentais sobre história da arquitetura moderna brasileira**: v.1. São Paulo: Romano Guerra, 2010. p. 207-225.

_____. *Teoria Acadêmica, Arquitetura Moderna, Corolário Brasileiro*. In: GUERRA, A. (Org.). **Textos fundamentais sobre história da arquitetura moderna brasileira**: v.2. São Paulo: Romano Guerra, 2010. p. 57-70.

CONTIER, F. A. O edifício da FAU-USP e os materiais do brutalismo. In: **Seminário DOCOMOMO Brasil, X**. 2013, Curitiba. Disponível em: < <http://docomomo.org.br/course/10o-seminario-docomomo-brasil/#more-1613>>. Acesso em: 08 nov. 2017.

_____. **O edifício da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo na Cidade Universitária**: projeto e construção da escola de Vilanova Artigas. São Paulo: Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, 2015. Tese de Doutorado.

COSTA, L. Razões da nova Arquitetura. In: _____. **Sobre Arquitetura**. Porto Alegre: Centro dos Estudantes Universitários de Arquitetura, 1962. p. 17-41.

_____. Documentação Necessária. In: _____. **Sobre Arquitetura**. Porto Alegre: Centro dos Estudantes Universitários de Arquitetura, 1962. p. 86-94.

COSTA, M. L. **Oscar Niemeyer (1907-1912)**: territórios da criação. Rio de Janeiro: Pinakothke, 2017.

CURTIS, W. J. R. **Arquitetura Moderna desde 1900**. Porto Alegre: Bookman, 2008.

FERRAZ, M. (Coord.). **Vilanova Artigas**. São Paulo: Instituto Lina Bo e P.M. Bardi / Fundação Vilanova Artigas, 1997.

FONSECA, R. P. **“Escriptório Technico Emílio H. Baumgart”**: Escola do Concreto Armado e a Arquitetura Modernista Brasileira. Brasília: Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília, 2016. Tese de Doutorado.

FRAMPTON, K. **História crítica da arquitetura moderna**. São Paulo: Martins Fontes, 1997.

_____. **Studies in tectonic culture**: The poetics of construction in nineteenth and twentieth century architecture. Chicago: John Cava, 1995.

_____. *Rappel à l'ordre*: argumentos em favor da tectônica. In: NESBITT, K. (Org.). **Uma nova agenda para a arquitetura**: antologia teórica (1965-1995). São Paulo: Cosac Naify, 2015. p. 557-569.

FORTY, A. **Words and Buildings**. New York: Thames & Hudson, 2012.

_____. **Concrete and Culture**: a material history. London: Reaktion Books, 2013.

GARDINER, S. **Le Corbusier**. São Paulo: Cultrix, 1977.

GIEDEON, S. **Espaço, tempo e Arquitetura**. São Paulo: Martins Fontes, 2004.

- HABERMAS, J. Arquitetura Moderna e Pós-Moderna. **Revista Novos Estudos**, CEBRAP, São Paulo, setembro, p. 115-124, 1987.
- HENLEY, S. **Redefining Brutalism**. London: Riba, 2017.
- HERTZBERGER, H. **Lições de Arquitetura**. São Paulo: Martins Fontes, 1996.
- HOWARD, JR., H. S. **Structure: An Architect's Approach**. New York: McGraw-Hill Book Company, 1966.
- HUXTABLE, A. L. **Pier Luigi Nervi**. New York: George Braziller, 1960.
- JAPIASSÚ, H.; MARCONDES, D. **Dicionário Básico de Filosofia**. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 1990.
- KAMITA, J. M. **Vilanova Artigas**. São Paulo: Cosac & Naify, 2000.
- _____. **Experiência moderna e ética construtiva**. A arquitetura de Affonso Eduardo Reidy. Rio de Janeiro: Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 1994. Dissertação de Mestrado.
- _____. Affonso Eduardo Reidy e o Brutalismo Paulista. In: ZEIN, R. V. (Org.). **Caleidoscópio Concreto**: Fragmentos de Arquitetura Moderna em São Paulo. São Paulo: Romano Guerra, 2017. p. 115-128.
- KURRER, K. E. **The history of the theory of structures**: From arch analysis to computational mechanics. Berlin: Ernst & Sohn, Berlin, 2008.
- LARANJEIRAS, A. C. R. **Modelo abstrato de análise estrutural**. Correspondência eletrônica com Monica Cavalcante de Aguiar recebida por <monica@justinoemonica.com.br> em 18 set. 2017.
- LE CORBUSIER. **Por uma arquitetura**. São Paulo: Perspectiva, 2014.
- LEONÍDIO, O. **Carradas de Razões**: Lucio Costa e a Arquitetura Moderna Brasileira. São Paulo: Loyola, 2007.
- MAHFUZ, E. O clássico, o poético e o erótico: método, contexto e programa na obra de Oscar Niemeyer. In: GUERRA, A. (Org.). **Textos fundamentais sobre história da arquitetura moderna brasileira**: v.2. São Paulo: Romano Guerra, 2010. p. 279-298.
- MARKUN, P.; ROIZENBLIT, S. **Arquiteturas**: Faculdade de Arquitetura e Urbanismo FAU/USP. SescTV. Filme publicado em 28 de outubro de 2014. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=WRCzeyrqp-M>>. Acesso em 08 nov. 2017.
- MONTANER, J. M. **Sistemas arquitetônicos contemporâneos**. Barcelona: Gustavo Gili, 2009.
- MORAVCSICK, J. **Platão e o Platonismo**: Aparência e realidade na ontologia, na epistemologia e na ética. São Paulo: Edições Loyola, 2006.
- NESBITT, K. Apresentação ao texto Rappel à l'ordre: argumentos em favor da tectônica. In: NESBITT, K. (Org.). **Uma nova agenda para a arquitetura**: antologia teórica (1965-1995). São Paulo: Cosac Naify, 2015. p. 556-557.
- NETO, M. K. **Monumento aos Pracinhas**. Depoimento do arquiteto Marcos Konder Neto aos alunos da UFRJ em 16 de setembro de 1994. Disponível em: <http://nova.fau.ufrj.br/material_didatico/FAR112Anexo%204%20v2.pdf>. Acesso em 05 dez. 2017.
- NIEMEYER, O. **A forma na arquitetura**. Rio de Janeiro: Avenir, 1978.

- _____.; SUSSEKIND, J. C. **Conversa de amigos**: correspondência entre Oscar Niemeyer e José Carlos Sussekkind. Rio de Janeiro: Revan, 2002.
- _____. **Cadernos do Arquiteto**: Brasília/Alvorada, Brasília/Catedral. São Paulo: Garilli, 1998.
- _____. Depoimento. **Revista Módulo**, Rio de Janeiro, n. 9, p. 3-6, fev. 1958.
- _____. Catedral de Brasília. **Revista Habitat**, São Paulo, n. 51, p.2-3, nov./dez. 1958.
- NOBRE, A. L. **Carmen Portinho**: o moderno em construção. Rio de Janeiro: Relume Dumará, 1999.
- _____. Um museu através. In: COELHO, F. (Org.). **Museu de Arte Moderna**: arquitetura e construção. Rio de Janeiro: Cobogó, 2010. p. 110-117.
- PERRONE, R. A. C. Artigas: espaços de formação. In: BAROSSO, A. C. (Org.). **O edifício da FAU-USP de Vilanova Artigas**. São Paulo: Editora da Cidade, 2016. p. 171-178
- PESSOA, D. F.; CLÍMACO, J. T. S. Catedral de Brasília: Histórico de Projeto /Execução e Análise da Estrutura. **Revista Internacional de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil**, Puerto Rico, v.2, n.2, p. 21-30, jul. 2002.
- PIÑÓN, H. **Teoria do Projeto**. Porto Alegre: Livraria do Arquiteto, 2006.
- RAVARA, P. B. **A consolidação de uma prática**: do edifício fabril em betão armado nos EUA aos modelos europeus de modernidade. Lisboa: Faculdade de Arquitectura de Lisboa, 2007. Tese de Doutorado.
- ROCHA, P. M.; WISNIK, G. (Org.). **Encontros**. Rio de Janeiro: Beco do Azougue, 2012.
- ROTH, L. M. **Entender a arquitetura**: seus elementos, história e significado. São Paulo: Gustavo Gili, 2017.
- ROWE, C.; SLUTZKY, R. Transparência: literal e fenomenal. **Gávea**, Rio de Janeiro, p.33-50, set. 1985.
- SEGAWA, H. **Arquiteturas no Brasil 1900-1990**. São Paulo: EDUSP, 2014.
- _____. Entre dois pavilhões: A repercussão internacional de Oscar Niemeyer. In: BRUNA, P.; GUERRERO, I. Q. (Org.). **Quatro ensaios sobre Oscar Niemeyer**. Cotia: Ateliê Editorial, 2017. p. 125-167.
- SEKLER, E. F. Structure, Construction, Tectonics. In: KEPES, G. (Org.). **Structure in Art and in Science**. New York. George Braziller, 1965. p. 89-95.
- _____. The Stoclet House by Joseph Hoffmann. In: **Essays in the History of Architecture Presented to Rudolf Wittkower**. London. Phaidon, 1967. p. 229-244.
- SERAPIÃO, F. Uma história para ser contada: A saga de Roberto Rossi Zuccolo, professor de todos os arquitetos modernos saídos do Mackenzie e alinhados com a Escola Paulista. **Projeto Design**, São Paulo, n. 73, abril, 2009. Disponível em: < <https://www.arcoweb.com.br/projetodesign> >. Acesso em 27 jun. 2016.
- SILVER, P.; MCLEAN, W.; EVANS, P. **Sistemas Estruturais**. São Paulo: Blucher, 2013.

SOLAR GRANDJEAN DE MONTIGNY. **Afonso Eduardo Reidy**. Rio de Janeiro: PUC-Rio / Index, 1985. Catálogo da exposição.

TELLES, S. S. Oscar Niemeyer, Técnica e Forma. In: GUERRA, A. (Org.). **Textos fundamentais sobre história da arquitetura moderna brasileira**: v.1. São Paulo: Romano Guerra, 2010. p. 251-262.

_____. A Arquitetura Modernista. Um espaço sem lugar. In: GUERRA, A. (Org.). **Textos fundamentais sobre história da arquitetura moderna brasileira**: v.1. São Paulo: Romano Guerra, 2010. p. 23-34.

_____. **Arquitetura Moderna no Brasil**: O desenho da superfície. São Paulo: Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, 1988. Dissertação de Mestrado.

THOMAZ, E. **MAM- Museu de Arte Moderna- Rio de Janeiro**. 1958-2015 = 57 anos. Concreto aparente em frente à entrada da Baía de Guanabara. Rio de Janeiro: IME: Instituto Militar de Engenharia, 2015. Notas de aula em arquivo .pdf.

THOMAZ, D. Vilanova Artigas: Documento. **AU Arquitetura Urbanismo**, São Paulo, PINI, out. / nov., p. 77-90, 1993.

TSCHUMI, B. Arquitetura e limites II. In: NESBITT, K. (Org.). **Uma nova agenda para a arquitetura**: antologia teórica (1965-1995). São Paulo: Cosac Naify, 2015. p. 179-182.

VASCONCELOS, A. C. **Emílio Henrique Baumgart: suas realizações e recordes**: uma vida dedicada ao concreto armado. São Paulo: Otto Baumgart Indústria e Comércio S.A., 2005.

_____. **O Concreto no Brasil**: Recordes-Realizações-História. São Paulo: Pini, 1992.

VASCONCELLOS, M. J. E. **Pensamento sistêmico**: o novo paradigma da ciência. Campinas: Papirus, 2013.

WISNIK, G. Artigas e a dialética dos esforços. **Revista Novos Estudos**, CEBRAP, São Paulo, n.102, julho, p. 152-160, 2015.

_____. Modernidade Congênita. In: ANDREOLI, E.; FORTY, A. (Org.). **Arquitetura Moderna Brasileira**. London: Phaidon, 2004. p. 20-55.

ZEIN, R. V. **A Arquitetura da Escola Paulista Brutalista**, 1953-1973. Porto Alegre: Faculdade de Arquitetura da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2005. Tese de Doutorado.