



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL,
ARQUITETURA E URBANISMO**

Fachadas inclinadas da arquitetura moderna brasileira: uma caracterização formal com o uso da gramática da forma

Débora Zacharias Cypriano

**Campinas
2008**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E URBANISMO**

Débora Zacharias Cypriano

**Fachadas inclinadas da arquitetura moderna brasileira: uma
caracterização formal com o uso da gramática da forma**

Dissertação apresentada à Comissão de Pós-Graduação da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, na área de concentração de Arquitetura e Construção.

Orientador: Profa. Dra. Maria Gabriela Caffarena Celani

Campinas
2008

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - BAE - UNICAMP

C992f Cypriano, Débora Zacharias
Fachadas inclinadas da arquitetura moderna
brasileira: uma caracterização formal com o uso da
gramática da forma / Débora Zacharias Cypriano.--
Campinas, SP: [s.n.], 2008.

Orientador: Maria Gabriela Caffarena Celani
Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de
Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e
Urbanismo.

1. Arquitetura moderna - Brasil. 2. Fachadas. 3.
Arquitetura - Classificação. I. Celani, Maria Gabriela
Caffarena. II. Universidade Estadual de Campinas.
Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e
Urbanismo. III. Título.

Título em Inglês: Sloping façade building in Brazilian modern architecture:
characterization of a group with the use of shape grammars

Palavras-chave em Inglês: Brazilian modern architecture, Shape grammar, Family of
objects, sloping façades

Área de concentração: Arquitetura e Construção

Titulação: Mestre em Engenharia Civil

Banca examinadora: Benamy Turkienicz, Leandro Silva Medrano

Data da defesa: 21/08/2008

Programa de Pós-Graduação: Engenharia Civil

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E URBANISMO.**

**FACHADAS INCLINADAS DA ARQUITETURA MODERNA
BRASILEIRA: UMA CARACTERIZAÇÃO FORMAL COM O USO DA
GRAMÁTICA DA FORMA.**

Débora Zacharias Cypriano

Dissertação de Mestrado aprovada pela Banca Examinadora, constituída por:


Prof. Dr. Maria Gabriela Caffarena Celani

Presidente e Orientador(a)/ FEC/ Universidade Estadual de Campinas


Prof. Dr. Benamy Turkienicz
Universidade Federal do Rio Grande do Sul


Prof. Dr. Leandro Silva Medrano
FEC / Universidade Estadual de Campinas

Campinas, 21 de agosto de 2008

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a minha professora orientadora, Gabriela Celani, que desde o início me apoiou e sempre elogiava ou criticava, quando necessário. Aos meus pais e irmã, Dirlei, Maria Luiza e Daniela, pela paciência que tiveram. Ao meu companheiro Daniel, que sempre me incentivou a fazer o mestrado. E aos meus amigos que fiz na Unicamp, cujos lembrarei sempre com muito carinho.

Resumo

CYPRIANO, Débora Z.. **Fachadas inclinadas da arquitetura moderna brasileira: uma caracterização formal com o uso da gramática da forma.** Campinas: Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo – UNICAMP. 2008. 154p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo – UNICAMP.

Tradicionalmente, a historiografia da arquitetura moderna brasileira e internacional tem proposto diferentes maneiras de categorização, baseadas, sobretudo, em períodos, regiões, tipologias das edificações, influências externas, escolas e arquitetos. Esses tipos de categorização são encontrados, por exemplo, nas obras de Benévolo (1960), de Mindlin (1956) e de Bruand (1971). Foi observado, nesta pesquisa, que a historiografia da arquitetura moderna no Brasil enfatiza, sobretudo, a classificação por arquiteto. Nenhum dos livros pesquisados utilizou critérios morfológicos para categorizar os edifícios. Objetivando propor uma nova abordagem para o estudo da arquitetura moderna brasileira, este trabalho apresenta uma classificação de obras arquitetônicas baseada em critérios morfológicos. Neste trabalho a gramática da forma (*shape grammar*), desenvolvida na década de 70 por George Stiny e James Gips, foi utilizada para caracterizar uma classe específica de edifícios. Para este exercício foi escolhido um pequeno conjunto composto por apenas seis obras, duas do arquiteto Oscar Niemeyer, duas de Affonso Eduardo Reidy e duas de João Vilanova Artigas, das décadas de 40 e 50, que possuem como característica comum a presença de fachadas inclinadas. Essas obras possivelmente influenciaram diversas obras similares posteriores. A partir da análise desse pequeno *corpus* de obras, foram inferidas regras de composição que, quando aplicadas na ordem correta, permitem reproduzi-las. Por meio da aplicação das regras da gramática desenvolvida seria possível gerar, também, alguns projetos desenvolvidos posteriormente aos do conjunto analisado, enquanto que, para outros, seria necessário acrescentar algumas regras novas. A aplicação dessas regras permite ainda a geração de novas composições contendo as mesmas características principais das obras analisadas. O objetivo da aplicação da gramática da forma na caracterização de edifícios neste trabalho tem o intuito de proporcionar uma oportunidade de compreensão aprofundada dos processos de composição do tipo de edifício escolhido, com vistas a possíveis aplicações pedagógicas e projetuais desse procedimento.

Palavras-chave: arquitetura moderna brasileira, gramática da forma, fachada inclinada, família de objetos.

Abstract

CYPRIANO, Débora Z.. **Sloping façade buildings in Brazilian modern architecture: characterization of a group with the use of shape grammars.** Campinas: Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo – UNICAMP. 2008. 154p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo – UNICAMP.

The historiography of Brazilian and international modern architecture has traditionally proposed categorization based mainly in periods, regions, function, external influences, schools and architects. These types of categorization are found, for example, in the works of Benévolo (1960), Mindlin (1956) and Bruand (1971). It has been observed, in the present study, that the historiography of modern architecture in Brazil emphasizes, in particular, classification by architect. Morphology is seldom used to categorize the buildings. Aiming to propose a new approach to the categorization of Brazilian modern architecture, this work proposes a classification of architectural works based on specific morphological criteria. In this work the shape grammar formalism, developed in the 70's by George Stiny and James Gips, was used to characterize a particular class of buildings. For this exercise a small set of buildings was chosen, composed by two buildings designed by architect Oscar Niemeyer, two by Affonso Eduardo Reidy, and two by John Vilanova Artigas, in the 40's and 50's. The six buildings have as a common feature the presence of sloping façades. These buildings have possibly influenced several subsequent works. From the analysis of that small body of buildings, composition rules have been inferred. When applied in the right order, the rules can reproduce them. The application of the rules of the grammar can also generate some similar projects developed later by other architects, and new, original compositions as well. The shape grammar developed provided an opportunity to clearly understand the process of design of the buildings in the *corpus*. Further work will include studying the possible applications of the grammar in education, as a design method.

Key-words: **Brazilian modern architecture, shape grammar, family of objects, sloping façades**

LISTA DE FIGURAS

	Página
FIGURA 2.1 Percepção visual através das formas.....	31
FIGURA 2.2 Lei da “boa continuidade” – Gestalt.....	31
FIGURA 2.3 Desenho da estrutura de uma cobertura projetada e o Terminal de ônibus Geroge Washington, NY, 1963, por Pier Luigi Nervi.....	33
FIGURA 2.4 Dois exemplos de inclinação: a negativa e a positiva.....	34
FIGURA 2.5 Estádio Municipal de Braga, Eduardo Souto Moura, 2000-03.....	34
FIGURA 2.6 Palácio do Sovietes, 1931, Le Corbusier, à esquerda e o projeto para o Teatro Municipal de Belo Horizonte, 1941, de Oscar Niemeyer, à direita.....	35
FIGURA 2.7 Imagens acima: Capela Annie Pfeiffer, 1938-41 (FLW) e Anhembi Tênis Clube, 1961 (V. Artigas).....	36
FIGURA 2.8 (a) plano inclinado da fachada, b) empenas inclinadas na fachada, c) elementos estruturais inclinados e d) combinação de (a) e (c).....	37
FIGURA 2.9 (a) Residência Mendes; (b) Museu de Caracas; (c) Quartéis-Generais.....	37
FIGURA 2.10 (a) Residência Benedito Levi e b) Res. Maria Flor.....	38
FIGURA 2.11 À esquerda: Escola Julia Kubitschek, 1951, Oscar Niemeyer. À direita: Museu de Arte Moderna do Rio de Janeiro, 1953, Affonso E. Reidy.....	38
FIGURA 2.12 Á esquerda: Fábrica Duchen. Á direita: Estádio Governador Magalhães Pinto.....	39
FIGURA 2.13 Instancias de uma mesa.....	45
FIGURA 2.14 Esquema de uma categorização.....	47
FIGURA 2.15 Taxonomia das transformações geométricas.....	47

FIGURA 2.16 Rascunho de Le Corbusier: tipos de formas que podemos encontrar em um específico lugar.....	50
FIGURA 3.1 Representação em árvore da gramática generativa de Chomsky.....	56
FIGURA 3.2 Casa IV – casa projetada a partir de regras desenvolvidas (Eisenman)....	57
FIGURA 3.3 (a) Gramática Palladiana: regras de adição da entrada anterior e inflexão da parede da fachada posterior na Villa Malcontenta; (b) Gramática da forma de uma casa de pradaria de Frank Lloyd Wright; (c) A gramática da forma dos jardins de Taj Mahal.....	59
FIGURA 3.4 A gramática da forma utilizando bloquinhos de madeira de Froebel.....	60
FIGURA 3.5 Imagem superior: encostos de cadeira estilo Happlewhite. Imagem inferior: aplicação das regras para a geração de um exemplo do estilo.....	62
FIGURA 3.6 Uma casa do estilo Queen Anne e sua geração através da gramática da forma.....	63
FIGURA 3.7 (a) Exemplos de formas de um vocabulário; (b) Exemplos de relações espaciais entre as formas; (c) Exemplos de regras de composição; (d) Exemplos de marcadores em uma forma.....	66
FIGURA 3.8 Derivação de uma gramática da forma.....	68
FIGURA 3.9 Programa construtivo para a definição de linguagens.....	70
FIGURA 4.1 Seções dos edifícios do <i>corpus</i> de análise e seus volumes gerados pela extrusão através do movimento de translação.....	74
FIGURA 4.2 (a) Escola Brasil-Paraguai (assimétrica); (b) Museu de Arte Moderna – RJ (simétrica); (c) Ginásio Itanhaém (simétrica).....	76
FIGURA 4.3 Programa paramétrico elaborado por Celani (2003).....	76
FIGURA 4.4 Gráfico com as possíveis combinações – E (Empena); EE (Elemento Estrutural); CI (Corpo Inclinado); CO (Corpo Ortogonal).....	80
FIGURA 4.5 Modelo do processo de projeto.....	82
FIGURA 4.6 (a) Poupatempo Itaquera, 1998; (b) Residência do Arquiteto, 1999.....	102
FIGURA 4.7 Corte AA – corte longitudinal da seção.....	103

FIGURA 4.8 (a) Clube Atlético Paulistano; (b) Museu de Arte Contemporânea de Niterói.....	104
FIGURA 4.9 (a) Poupatempo Itaquera; (b) Residência do Arquiteto.....	104
FIGURA 4.10 Árvore genealógica do Modelo 03.....	105

LISTA DE TABELAS

	Página
TABELA 1.1 Categorização das principais obras da historiografia da arquitetura moderna no Brasil.....	27
TABELA 2.1 Relação de obras com fachada inclinada.....	40
TABELA 4.1 <i>Corpus</i> de Análise.....	75
TABELA 4.2 <i>Corpus</i> , Terminologias e Cores.....	78
TABELA 4.3 Etapa I – Regras para a Forma Máxima (FM).....	83
TABELA 4.4 Etapa II – Regras para Empena (E).....	85
TABELA 4.5 Etapa III – Regras para Elemento Estrutural (EE).....	88
TABELA 4.6 Etapa IV – Regras para Corpo Inclinado (CI).....	91
TABELA 4.7 Etapa V – Regras para Corpo Ortogonal (CO).....	92
TABELA 4.8 Regras Aplicadas x Edifícios do <i>Corpus</i>	111
TABELA 4.9 Regras Aplicadas x Novos Modelos.....	113

LISTA DE ESQUEMAS

	Página
ESQUEMA 2.1 Tipos de fachadas inclinadas.....	42
ESQUEMA 2.2 Tipos de transformações geométricas.....	43
ESQUEMA 3.1 Gramática da forma utilizada.....	71

SUMÁRIO

	Página
1 INTRODUÇÃO	23
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	30
2.1 Uso de planos inclinados nas fachadas	30
2.2 As fachadas inclinadas	35
2.3 Identificação de exemplos do uso de fachadas inclinadas na arquitetura brasileira	39
2.4 Abordagem	43
3 METODOLOGIA	52
3.1 A gramática da forma: arquitetura como linguagem	53
3.2 Procedimentos metodológicos da pesquisa	71
4 DESENVOLVIMENTO DA GRAMÁTICA	73
4.1 Seleção do <i>corpus</i>	73
4.2 Desenvolvimento da gramática	75
4.3 Teste da gramática	94
4.4 Verificação da gramática da forma	95
4.5 Análise de outras obras a partir da gramática criada	102
4.6 Geração de novos projetos	105
5 RESULTADOS	110

6 CONCLUSÃO E DESDOBRAMENTOS FUTUROS	115
REFERÊNCIAS	117
APÊNDICE A: Relação das obras com fachadas inclinadas	127
APÊNDICE B: Alternativas preliminares para o <i>corpus</i> de análise	133
APÊNDICE C: Resultado do teste da gramática	145
APÊNDICE D: Parâmetros dos edifícios do <i>corpus</i>	149

1 Introdução

A historiografia da arquitetura moderna tem proposto diferentes maneiras de categorização, baseadas, sobretudo, em períodos, regiões, tipologias de edificações, função, influências externas, escolas e arquitetos. Alguns exemplos internacionais dessas abordagens são os livros *Le Corbusier*, 2000, de Elizabeth Darling (autor); *Bauhaus 1913-1933*, 1991, de Magdalena Droste (período); *Case Study Houses*, 2002, de Elizabeth Smith (tipologia); *Frank Lloyd Wright Prairie Houses*, 2006, de Alan Hess e Kathryn Smith (autor, tipologia e região) e *Bauhaus Architecture 1919-1933*, 2001, de Hans Engels e Ulf Meyer (escola).

Leonardo Benevolo, em *Storia dell'Architettura Moderna* (1960), trata da história da arquitetura e do urbanismo moderno como um todo, expondo muitos arquitetos, seus estilos e projetos, como Louis Sullivan, Adolf Loos e Frank Lloyd Wright. Além disso, Benevolo (1960) pontua a arquitetura moderna em muitos países da Europa e países subdesenvolvidos, como o Brasil, e cita algumas obras e arquitetos relevantes.

Essa categorização é também encontrada na historiografia da arquitetura moderna brasileira. Em *Modern Architecture in Brazil* (1956), Henrique Mindlin evidencia a vontade de mostrar a solidez do movimento moderno, que não se resume a algumas obras (TINEM, 2006), ressaltando a importância das propostas estruturais que, para o autor, foi uma das conquistas da moderna escola brasileira. Mindlin (1956) expõe muitos arquitetos e obras relevantes desse período, como se pode notar já na capa de seu livro que é ilustrada por edifícios de Lucio Costa e Oscar Niemeyer.

Posteriormente, Yves Bruand (1981) produz um compêndio, *Arquitetura Contemporânea no Brasil (1981)*, retratando os estilos arquitetônicos e os momentos históricos antecedentes dessa ‘nova’ arquitetura, nome dado por ele para traduzir esse movimento modernista que se consolidava nesse período (TINEM, 2006). O autor cita alguns arquitetos e suas principais obras, mencionando as escolas carioca e paulista de arquitetura, não deixando de comentar o que ocorria nas demais regiões do país.

Após um levantamento de títulos de obras de outros autores, feito em acervos da Universidade Estadual de Campinas e da Universidade de São Paulo e em bases de dados digitais, foi possível observar que a historiografia da arquitetura moderna no Brasil enfatiza, sobretudo, a classificação por arquiteto, retratando obras e biografias de arquitetos pertencentes a esse período. O critério utilizado para essa pesquisa foi procurar livros que tivessem como assunto a Arquitetura Moderna Brasileira. A Tabela 1, na página 11, mostra as principais obras nessa área publicadas no Brasil entre os anos de 1950 a 2006.

Segundo Nesbitt (2006), nos dias de hoje, pode-se notar uma “periodização” (pg. 47) da arquitetura, ou seja, o isolamento das obras e eventos em categorias cronológicas ou estilísticas. Nenhum dos livros pesquisados usou critérios morfológicos para categorizar os edifícios. As principais exceções referem-se, em geral, a textos de divulgação restrita, como teses, artigos em periódicos e comunicações em eventos, que propõem abordagens não baseadas nas categorias citadas acima, como aspectos formais ou técnicos. Entre estas, podemos destacar os seguintes exemplos:

- *Breve História de Três Idéias: Motivos Formais Recorrentes na Produção da Arquitetura Moderna Brasileira*, 2005, de Renato Leão Rego. Retrata três tipos formais existentes na arquitetura moderna: o telhado borboleta, as abóbadas em fila e a liberdade formal.

- *A insustentável leveza da modernidade*, 2005, de Fernando Lara. Artigo sobre a popularização da arquitetura moderna, retratando certos elementos repetitivos em casas residenciais dos bairros de Belo

Horizonte, como é o caso dos telhados tipo borboleta, lajes de concreto flutuando sobre a entrada, apoiadas sobre esbeltas colunas de metal e elementos vazados que proporcionam sombra, privacidade e ventilação.

- *O conforto térmico nas residências de Rino Levi*, 2006, de Marina Silva Rahal. Esta dissertação de mestrado avalia o conforto térmico das residências projetadas por Rino Levi, que se caracterizam pela presença de jardins integrados aos ambientes internos.

Objetivando propor uma nova abordagem para o estudo da arquitetura moderna brasileira, este trabalho pretende apresentar uma classificação de obras arquitetônicas modernas baseada em critérios morfológicos e de composição, entendendo-se classificação como a reunião de entidades semelhantes e a separação das não afins.

Essa abordagem é necessária, pois, segundo Turkienicz (1994), nenhuma das críticas da arquitetura, como a racionalista, a pós-moderna e a moderna culturalista, consegue explicar a arquitetura como linguagem.

São diversas as metodologias utilizadas para estabelecer a classificação de objetos. Pode-se citar como exemplos a taxonomia, a categorização e a ontologia. Neste trabalho, o método proposto para a caracterização de um novo grupo de obras por critérios morfológicos e compositivos foi a gramática da forma de Stiny e Gips (1972). Esse método tem sido largamente utilizado na caracterização de linguagens arquitetônicas já estabelecidas, em geral de um mesmo arquiteto ou de um mesmo local e período histórico. Contudo, não há indícios de sua utilização na identificação de novas categorias que transcendem autoria, espaço e tempo, como no caso dos edifícios de fachadas inclinadas que se pretende caracterizar nesta pesquisa. Assim, este trabalho buscará responder à seguinte questão: é possível utilizar a gramática da forma na identificação de novas famílias de composições arquitetônicas, com vistas à sua classificação morfológica?

Para a identificação de uma nova família de composições arquitetônicas foi utilizada a expressão semelhanças de família. Segundo Ludwig Wittgeinstein (*apud* CONDE, 2004), uma família de objetos, ou semelhanças de família, “são assim semelhanças entre aspectos pertencentes aos diversos elementos que estão sendo comparados, mas de forma tal que os aspectos semelhantes se distribuem ao acaso por esses elementos”. (CONDE, 2004).

O método adotado consistiu em identificar formas primitivas e inferir regras compositivas em um grupo de edifícios selecionados para o estudo. Além disso, as regras permitem agrupar os edifícios em uma mesma família não só pelas características visualmente semelhantes, mas também pelas suas etapas de geração. A aplicação dessas regras permitiu a geração de novas composições que contêm as mesmas características principais.

Alguns críticos poderão dizer que a abordagem aqui proposta para a análise de edifícios modernos constitui-se em uma visão formalista da arquitetura. Contudo, o objetivo da aplicação da gramática da forma (*shape grammar*) na caracterização de edifícios neste trabalho tem apenas o intuito de proporcionar uma oportunidade de compreensão aprofundada dos processos de composição de um determinado tipo de edifício, com vistas a possíveis aplicações pedagógicas e projetuais desse procedimento.

Recentemente, Benamy Turkienicz orientou três dissertações de mestrado da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, intituladas *A linguagem de Oscar Niemeyer* (MAYER, 2003), *A linguagem da estrutura na obra de Vilanova Artigas* (WEBER, 2005) e *A linguagem da arquitetura hospitalar de João Filgueiras Lima* (WESTPHAL, 2007), que analisaram obras desses três grandes arquitetos brasileiros utilizando essa mesma metodologia. No entanto, a gramática da forma ainda é pouco conhecida no Brasil.

A metodologia adotada nesta pesquisa pode ser comparada ao método de criação científica proposto por Abraham A. Moles (1971), denominado como “Método de Classificação”. Segundo o autor, a elaboração de uma nova proposta de classificação

de elementos em qualquer ciência se constituiria em uma oportunidade para o estabelecimento de novas relações, e conseqüentemente para a emergência de novas conclusões e teorias.

TABELA 1.1: Categorização das principais obras da historiografia da arquitetura moderna no Brasil.

Legenda da Tabela

A	Arquiteto (45/89)
P	Período (11/89)
R	Região (15/89)
T	Tipologia (10/89)
DH	Descrição Histórica (7/89)
IE	Influência Externa (1/89)

Legenda	Autor	Título	Ano	Categoria	Tipo
A	Costa, Lucio	Arquitetura Brasileira / Lucio Costa	1952	Indivíduo	Livro
A	Ferraz, Geraldo	Warchavichik e a introdução da nova arquitetura no Brasil: 1925 a 1940	1965	Indivíduo	Livro
A	Harris, Elizabeth D.	Le Corbusier - riscos brasileiros	1976	Indivíduo	Livro
A	Sodre, Nelson Werneck	Oscar Niemeyer	1978	Indivíduo	Livro
A	Daher, Luis Carlos	Flavio de Carvalho: arquitetura e expressionismo	1982	Indivíduo	Livro
A	Reidy, Affonso Eduardo	Catálogo da exposição realizada de 20 de agosto a 21 de setembro de 1985	1985	Indivíduo	Livro
A	Santos, Cecília Rodrigues dos	Le Corbusier e o Brasil	1987	Indivíduo	Livro
A	Farias, Agnaldo Arice Caldas	A arquitetura eclipsada: notas sobre história e arquitetura à propósito da obra de Gregori Warchavichik: introdutor da arquitetura moderna no Brasil	1990	Indivíduo	Dissertação
A	Bardi, Lina Bo e Ferraz, Marcelo Carvalho	Lina Bo Bardi	1993	Indivíduo	Livro
A	Frota, Lelia Coelho	Alcides Rocha Miranda: caminho de um arquiteto	1993	Indivíduo	Livro
A	Pizzi, Emilio	Mario Botta	1994	Indivíduo	Livro
A	Guimaraens, Ceça	Lucio Costa: um certo arquiteto em incerto e secular roteiro	1996	Indivíduo	Livro
A	Rocha, Paulo Mendes da	Mendes da Rocha	1996	Indivíduo	Livro
A	Correa, Marcos Sa	Oscar Niemeyer: Ribeiro de Almeida Soares	1996	Indivíduo	Livro
A	Niemeyer, Oscar	Conversas de Arquiteto	1997	Indivíduo	Livro
A	Segawa, Hugo	Oswaldo Arthut Bratke/projeto editorial	1997	Indivíduo	Livro
A	Reines, Tuca	Sig Bergamin	1997	Indivíduo	Livro
A	Pereira, Miguel	Arquitetura, texto e contexto: o discurso de Oscar Niemeyer.	1997	Indivíduo	Livro
A	Petit, Jean	Niemeyer, poeta da arquitetura	1998	Indivíduo	Livro
A	Niemeyer, Oscar	Meu sócia e eu	1999	Indivíduo	Livro

A	Mattar, Denise	Flavio de Carvalho: 100 anos de um revolucionário romântico	1999	Indivíduo	Livro
A	Czajkowsky, Jorge	Jorge Machado Moreira	1999	Indivíduo	Livro
A	Conduru, Roberto	Vital Brazil	2000	Indivíduo	Livro
A	Kamita, João Masao	Vilanova Artigas	2000	Indivíduo	Livro
A	Niemeyer, Oscar	Minha arquitetura	2000	Indivíduo	Livro
A	Bonduki, Nabil	Afonso Eduardo Reidy	2000	Indivíduo	Livro
A	Latorraca, Giancarlo	João Figueirs Lima, Lelé	2000	Indivíduo	Livro
A	Siqueira, Vera Beatriz	Burle Marx	2001	Indivíduo	Livro
A	Corona, Eduardo	Oscar Niemeyer - Uma lição de arquitetura	2001	Indivíduo	Livro
A	Costa, Lucio	Com a palavra: Lucio Costa	2001	Indivíduo	Livro
A	Buchmanm, A	Lucio Costa - o inventor da cidade de Brasília	2002	Indivíduo	Livro
A	Underwood, David	Oscar Niemeyer e o modernismo de formas livres	2002	Indivíduo	Livro
A	Arantes, Pedro Fiori	Arquitetura Nova - Sergio Ferro, Flavio Imperio e Rodrigo Lefreve, de Artigas aos mutirões	2002	Indivíduo	Livro
A	Guerra, Abílio	Lúcio Costa - modernidade e tradição: montagem discursiva da arquitetura moderna brasileira	2002	Indivíduo	Tese
A	Costa, Lucio	Arquitetura / Lucio Costa	2002	Indivíduo	Livro
A	Wisnik, Guilherme	O risco Lucio Costa e a utopia moderna	2003	Indivíduo	Livro
A	Segre, Roberto	Jovens Arquitetos - Brasil	2004	Indivíduo	Livro
A	Nobre, Ana Luiza - Cosac & Naify	Um modo de ser moderno: Lucio Costa e a crítica contemporânea	2004	Indivíduo	Livro
A	Artigas, Vilanova	Caminhos da Arquitetura	2004	Indivíduo	Livro
A	Nobre, Ana Luiza / Leonidio, Otavio / Conduru, Roberto	Lucio Costa - um modo de ser moderno	2004	Indivíduo	Livro
A	Pugliese, Maria Helena	Carlos Bratke - Arquitetura	2005	Indivíduo	Livro
A	Correa, Marcos Sa	Oscar Niemeyer	2005	Indivíduo	Livro
A	Niemeyer, Oscar	Minha experiência em Brasília	2006	Indivíduo	Livro
A	Oliveira, Olivia de Romano Guerra	Lina Bo Bardi - Sutis substancias da arquitetura	2006	Indivíduo	Livro
A	Lacerda, Luiz Claudio / Randolph, Rogerio	Oscar Niemeyer 360 - Minhas obras favoritas	2006	Indivíduo	Livro
P	Bruand, Yves	Arquitetura Contemporânea no Brasil	1971	Período	Livro
P	Segawa, Hugo	Arquiteturas no Brasil, 1900-1990	1999	Período	Livro
P	Montaner, Josep Maria	Formas do Século XX	2002	Período	Livro
P	Marques, Sergio Moacir	A revisão do movimento moderno - Arquitetura do Rio Grande do Sul dos anos 80	2002	Região/Período	Livro
P	Bastos, Maria Alice Junqueira	Pós-Brasília - Rumos da Arquitetura	2003	Período	Livro
P	Segawa, Hugo	Preludio da Metropole - Arquitetura e Urbanismo	2004	Período	Livro
P	Segre, Roberto	Arquitetura Brasileira Contemporânea	2003	Período/Descrição histórica	Livro
P	Fanucci, Francisco / Ferraz, Marcelo	Brasil Arquitetura	2005	Período	Livro
P	Cavalcanti, Lauro / Lago, André	Ainda moderno? - Arquitetura brasileira	2005	Período	Livro
P	Cavalcanti, Lauro	Moderno e Brasileiro	2006	Período/Descrição histórica	Livro
P	Katinsky, Julio	Arquitetura escolar paulista: 1950-1960	2006	Tipologia/Período	Livro
R	Wissenbach, Vicente	Panorama da arquitetura cearense	1982	Região	Livro
R	Xavier, Alberto	Arquitetura Moderna em Curitiba	1985	Região	Livro

R	Abraham, Luis Alberto	Modernidade arquitetônica e teoria do poder de estado em Brasília: tradição e ruptura do domínio da plástica	1989	Região	Dissertação
R	Holston, James	A cidade modernista: uma crítica de Brasília e sua utopia.	1993	Região	Livro
R	Penedo, Alexandre	Arquitetura Moderna, São José dos Campos	1997	Região	Livro
R	Arruda, Andelo Marcos Vieira de	Arquitetura em Campo Grande	1999	Região	Livro
R	Czajkowski, Jorge	Guia de arquitetura moderna no Rio de Janeiro	2001	Região	Livro
R	Couto, Ronaldo Costa	Brasília Kubitschek de Oliveira	2001	Região	Livro
R	Marques, Sergio Moacir	A revisão do movimento moderno - Arquitetura do Rio Grande do Sul dos anos 80	2002	Região/Período	Livro
R	Melo, Alcilia Afonso de A e	Arquitetura me Teresina: 150 anos	2002	Região	Livro
R	Santana, Rodrigo e Pglisi, Stella	Arquitetura moderna em Juiz de Fora: contribuição de Arthur Arcuri	2002	Região	Livro
R	Tamanini, L. Fernando	Brasília: Memória da Construção, 2.v	2003	Região	Livro
R	Suzuki, Juliana	Artigas e Cascladi - Arquitetura em Londrina	2003	Região	Livro
R	Lima, Raquel Rodrigues / Canez, Anna Paula / Caixeta, Eline Maria Moura Pereira	Imagem e construção da modernidade em Porto Alegre	2004	Região	Livro
R	Segre, Roberto	Rio de Janeiro - guia de arquitetura contemporânea	2005	Região	Livro
T	Passos, Luiz Mauro do Carmo	Edifícios de apartamentos: Belo Horizonte, 1939-1976: formações e transformações tipológicas na arquitetura da cidade	1998	Tipologia	Livro
T	Bruna, Paulo	Os primeiros arquitetos modernos: habitação social no Brasil: 1930-1950	1998	Tipologia	Tese
T	Bussabi, Sami e Oliveira, Nildo Carlos	Arquitetura escolar paulista e política educacional	1998	Tipologia	Livro
T	Serroni, J. C.	Teatros - Uma memória do espaço cênico do Brasil	2002	Tipologia	Livro
T	Flório, Wilson / Sant'Anna, Silvio / Gallo, Haroldo e Magalhães, Fernanda	Projeto residencial moderno e contemporâneo - volume I: residências nacionais	2002	Tipologia	Livro
T	Comas, Carlos Eduardo / Canez, Anna Paula / Bohrer, Glenio Vianna Ritter dos Reis	Arquiteturas Cisplatinas	2004	Tipologia	Livro
T	Niemeyer, Oscar	Casas onde morei	2005	Tipologia	Livro
T	Vasconcelos, Augusto Carlos de / Carrieri Junior, Renato / Scipioni, Lamberto	A escola brasileira do concreto armado	2005	Tipologia	Livro
T	Goes, Ronaldo de	Manual prático de arquitetura para clínicas	2006	Tipologia	Livro
T	Katinsky, Julio	Arquitetura escolar paulista: 1950-1960	2006	Tipologia/Período	Livro
DH	Irigoyen, Adriana	Wright e Artigas - duas viagens	2002	Influência Externa	Livro
IE	Puppi, Marcelo	Por uma história não moderna da arquitetura brasileira: questões de historiografia	1998	Descrição histórica	Livro
IE	Niemeyer, Oscar / Sussekind, José Carlos	Conversa de Amigos	2002	Descrições históricas	Livro
IE	Segre, Roberto	Arquitetura Brasileira Contemporânea	2004	Período/Descrição histórica	Livro
IE	Niemeyer, Oscar	A forma na arquitetura	2005	Descrições históricas	Livro
IE	Warchavichik, Gregori	Arquitetura do Século XX	2006	Descrições históricas	Livro
IE	Cavalcanti, Lauro	Moderno e Brasileiro	2006	Descrição histórica	Livro
IE	Costa, Lucio	Arquitetura	2006	Descrições históricas	Livro

2 Fundamentação Teórica

2.1 Uso de planos inclinados nas fachadas

O que faz um arquiteto projetar um edifício com fachada inclinada? São analisados a seguir alguns dos possíveis motivos que podem levar a esse resultado, relacionados à intenção de provocar uma determinada percepção visual da obra, ao uso de métodos matemáticos para a otimização estrutural da forma, ao conforto térmico e à função do edifício.

Segundo Arnheim (1975), determinadas formas lineares tendem a se prolongar visualmente mesmo após serem interrompidas. Por exemplo, quando uma linha é interrompida por outra que a cruza, como no caso da empena vertical de um edifício chegando ao chão, existem duas formas de percepção: o chão pode ser visto como uma barreira que interrompe o edifício, ou pode-se imaginar que o edifício se prolonga através do chão. Essa segunda leitura ocorre quando uma das formas se apresenta de maneira incompleta. Na Figura 2.1, por exemplo, quando olhamos para a forma A, nosso cérebro tende a completar um quadrilátero através da linha horizontal inferior.

Na Figura 2.1, o quadrilátero A e o cone F induzem a percepção visual a prolongar suas linhas inclinadas até que estas se encontrem na parte inferior do objeto. Já o cone E pode ou não ser interpretado como incompleto, pois sua forma é mais estável que as outras, assim como o quadrilátero C.

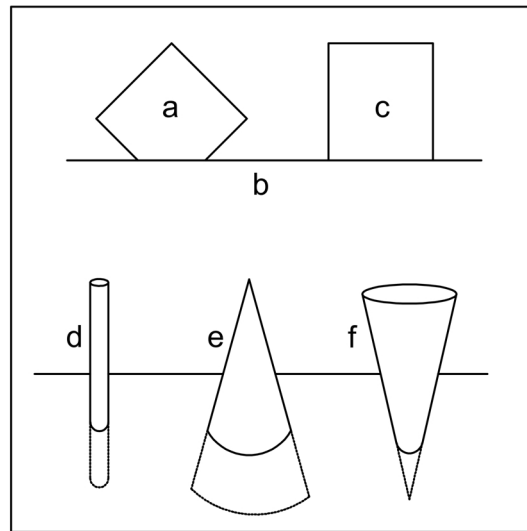


FIGURA 2.1: Percepção visual através das formas.
Fonte da figura: ARNHEIM, 1975, p. 42.

Arnheim (1975) baseia suas explicações nos princípios da Gestalt, escola de psicologia experimental alemã do início do século XX. A percepção, para os gestaltistas, não é o resultado da soma de sensações de pontos luminosos individuais, mas resultado de uma sensação global, proveniente da apreensão imediata do todo, devido a uma necessidade interna de organização (PALLAMIN, 1985).

A tendência a percebermos a continuidade da forma A na Figura 2.1 pode ser explicada pela lei gestaltista da "boa continuidade", apresentada na Figura 2.2. Segundo Pallamin (1985), toda unidade linear tende a se prolongar na mesma direção e com o mesmo movimento: "(...) uma linha reta é uma estrutura mais estável do que uma linha quebrada (...) de tal modo que uma linha reta continuará como uma linha reta". (KOFFKA, 1975, p. 32).

Boa continuidade: é o acompanhamento de uns objetos por outros, de modo que uma forma continue em uma direção já conhecida.

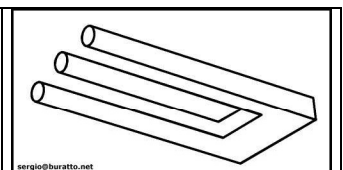


FIGURA 2.2: Lei da "boa continuidade" – Gestalt
Fonte da figura: PROENÇA, 2007

Geometricamente as três coordenadas do sistema cartesiano, normalmente denominadas x , y e z , são iguais em termos de importância. Em nosso espaço terrestre, entretanto, a gravidade, representada pelo plano vertical, assume uma importância especial na organização visual do espaço, distinguindo-se claramente do plano horizontal, que comporta as duas outras direções (ARNHEIM, 1975). Assim, qualquer uma das orientações espaciais é compreendida através da sua relação com o plano vertical. Arnheim (1975) cita como exemplo o campanile de Pisa. Por ser inclinado fisicamente, esse edifício se desvia visualmente da norma estabelecida pelos edifícios em seu entorno, uma norma visual confirmada pelo senso de equilíbrio do próprio corpo dos observadores.

Um outro possível motivo para o emprego de planos inclinados em edifícios, principalmente em seus elementos estruturais, é sugerido por Pier Luigi Nervi (MITCHELL, 1990), que cita que o aperfeiçoamento da eficiência técnica e funcional de uma estrutura traria como resultado uma melhora em suas qualidades estéticas. A Figura 2.3 mostra a “essência estrutural” (MITCHELL, 1990, p. 206) a que Nervi se referia, representada no desenho de um pórtico, com a descrição de vetores de força, mostrando como a forma dos edifícios deveria responder às suas necessidades estruturais e resulta, neste caso, em linhas inclinadas nos pilares e vigas. A outra imagem mostra o Terminal de ônibus George Washington, em Nova Iorque, 1963, obra de Nervi realizada com o pórtico desenvolvido.

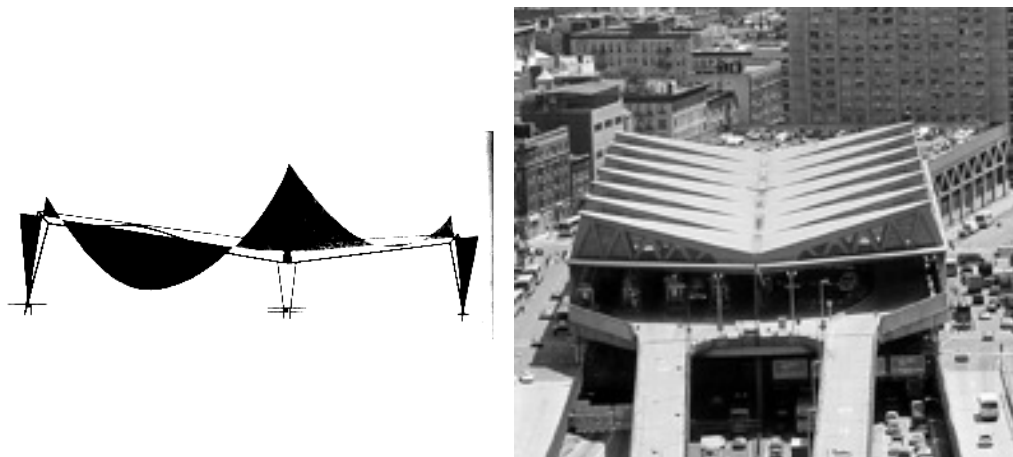


FIGURA 2.3: Desenho da estrutura de uma cobertura projetada e o Terminal de ônibus George Washington, NY, 1963, por Pier Luigi Nervi.

Fontes das figuras: MITCHELL, 1990, p.206; www.wikipedia.org, 2008

Em algumas obras de arquitetura moderna brasileira nota-se o uso da forma do pórtico obedecendo à lógica estrutural: na junção da passagem da carga da laje para o pilar, a área de contato é maior; mas no ponto em que tais forças são transmitidas às fundações, a seção tende a diminuir progressivamente (KAMITA, 2000).

Além dos motivos expostos acima, existem muitos outros que podem levar ao uso de fachadas inclinadas, como o conforto térmico. Uma inclinação negativa pode ajudar no controle da incidência solar em climas quentes. Com efeito, alguns arquitetos combinaram a solução com o uso de brises na estrutura, como o Museu de Arte Moderna do Rio de Janeiro, de Afonso Eduardo Reidy. Já no caso de uma inclinação positiva, a exposição ao sol aumenta, o que pode ser interessante em climas frios, embora esse tipo de fachada também tenha sido combinada ao uso de brises horizontais, como em algumas residências do Centro Tecnológico da Aeronáutica, em São José dos Campos, de Oscar Niemeyer. De qualquer maneira, estes motivos não costumam aparecer isolados, mas sempre combinados a uma intenção estética do arquiteto (Figura 2.4).

Há ainda algumas funções que resultam necessariamente em planos inclinados, como nas rampas, auditórios e arquibancadas de ginásios e estádios, como o Estádio Municipal de Braga (Figura 2.5).



FIGURA 2.4: Dois exemplos de inclinação: a negativa e a positiva.

Fontes das figuras: BONDUKI, 1999, p. 179; MINDLIN, 1956, p. 117.

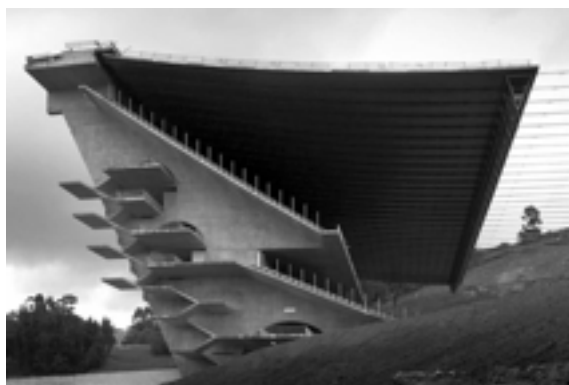


FIGURA 2.5: Estádio Municipal de Braga, Eduardo Souto Moura, 2000-03.

Fonte da figura: www.portugalmaispositivo.com, 2007

2.2 As fachadas inclinadas

Na arquitetura moderna brasileira a ocorrência de fachadas inclinadas se dá principalmente de quatro maneiras: nas empenas laterais dos edifícios, formando um “envelope”, nos planos de fachadas, nos elementos estruturais inclinados e, ainda, em uma combinação do plano de fachada com elementos estruturais. No terceiro e quarto casos a solução estrutural é, em geral, baseada no uso de pórticos sucessivos posicionados externamente ao volume do edifício. Para referir-nos aqui a esse tipo de solução utilizaremos o termo “exoesqueleto”, proposto por Collares (2003).

As primeiras obras com fachadas inclinadas na arquitetura moderna internacional surgiram na década de 1930. Exemplos de arquitetos que utilizaram essa linguagem foram Le Corbusier e Frank Lloyd Wright. É muito provável que essas obras tenham influenciado arquitetos modernos no Brasil.

Segundo Collares (2005), o projeto para o Palácio do Sovietes, 1931, de Le Corbusier, teria influenciado Oscar Niemeyer, que incorpora a linguagem do “exoesqueleto” a partir de 1941, no Teatro Municipal de Belo Horizonte (Figura 2.6)



FIGURA 2.6: Palácio do Sovietes, 1931, Le Corbusier, à esquerda e o projeto para o Teatro Municipal de Belo Horizonte, 1941, de Oscar Niemeyer, à direita.

Fonte das figuras: COLLARES, 2003, p. 69.

No caso da escola paulistana, arquiteto como Vilanova Artigas, teve como precedente principal Frank Lloyd Wright. Irigoyen (2002) descreve a viagem de Artigas aos Estados Unidos em 1946-47, quando o arquiteto visitou e fotografou muitas obras projetadas por Wright, incluindo o estúdio em Taliesin West (1937) e a Capela Annie Pfeiffer, no Florida Southern College (1938-41), duas obras que apresentam fachadas inclinadas.



FIGURA 2.7: Imagens acima: Capela Annie Pfeiffer, 1938-41 (FLW) e Anhembí Tênis Clube, 1961 (V. Artigas).

Fonte das figuras: (a) <http://commons.wikimedia.org/wiki/Image:Pfeiffer_Chapel_HABS,_FLA,53-LAKE,1A-14.jpg>, 2008; (b) ARTIGAS, 1997, p. 95.

2.2.1 Quatro tipos de fachadas inclinadas

Como foi citado na Seção 2.2, há quatro diferentes maneiras principais de ocorrência de planos inclinados na fachada: plano inclinado (Figura 2.8 a), empenas inclinadas na fachada com cobertura, formando um “envelope” (Figura 2.8 b), elementos estruturais inclinados (exoesqueleto, pórtico) (Figura 2.8 c) e a combinação de plano inclinado e elementos estruturais inclinados (Figura 2.8 d).

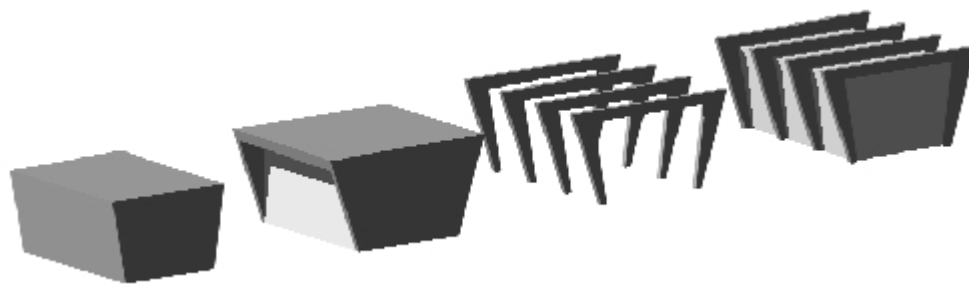


FIGURA 2.8: a) plano inclinado da fachada, b) empenas inclinadas na fachada, c) elementos estruturais inclinados e d) combinação de (a) e (c).

No levantamento de obras da arquitetura moderna brasileira realizado e apresentado no Apêndice A, podemos notar alguns edifícios que possuem planos inclinados em sua fachada, como é o caso da Residência Mendes, 1946 (Figura 2.9 a), o Museu de Arte Moderna de Caracas, 1954 (Figura 2.9 b), ambos de Oscar Niemeyer, e os Quartéis Gerais II Exército, 1956, de Paulo Bastos (Figura 2.9 c).



(a)



(b)



(c)

FIGURA 2.9: (a) Residência Mendes; (b) Museu de Caracas; (c) Quartéis-Generais.

Fontes das figuras: (a) CORONA, 2001, p. 25; (b) PAPADAKI, 1956, p. 59; (c) XAVIER, 1983, p. 80.

Já a ocorrência apenas de empenas inclinadas sem plano inclinado na fachada é encontrada, geralmente, em residências, como é o caso da Residência Benedito Levi, 1946, Vilanova Artigas (Figura 2.10 a) e da Maria Flor Vieira, 1950, Carlos Fayet (Figura 2.10 b). Nenhum desses exemplos utiliza brise-soleil para o controle de incidência solar, pois a laje inclinada que avança sobre a varanda permite o controle da luz.



(a)



(b)

FIGURA 2.10: a) Residência Benedito Levi e b) Res. Maria Flor.

Fontes das figuras: (a) LUCCAS, 2006; (b) ARTIGAS, 1997, p. 46; (c) XAVIER, 1987, p. 14.

Kamita (2000) afirma que o exoesqueleto possui um foco de tensão expressiva, pois os pontos de apoios verticais se articulam com a laje plana da cobertura. O vínculo alcançado neste ponto de junção resulta em uma peça única - o pórtico estrutural. A vantagem dessa solução é, obviamente, a liberação da área interna da necessidade de apoios muito próximos. Dois exemplos de edifícios que usam o exoesqueleto são mostrados na Figura 2.11.



FIGURA 2.11: À esquerda: Escola Julia Kubitschek, 1951, Oscar Niemeyer. À direita: Museu de Arte Moderna do Rio de Janeiro, 1953, Affonso E. Reidy.

Fontes das figuras: MELENDEZ, 2007; BONDUKI, 1999, p. 174

A quarta maneira da ocorrência de fachada inclinada é a mistura de um plano e de uma estrutura inclinados. Pode-se citar como exemplos, o edifício da fábrica

Duchen, 1950-51, de Oscar Niemeyer, e o Estádio Governador Magalhães Pinto (Mineirão), 1964-65, de Eduardo Guimaraes e Gaspar Garreto (Figura 2.12).



FIGURA 2.12: À esquerda: Fábrica Duchen. À direita: Estádio Governador Magalhães Pinto.

Fonte das figuras: FLIEG, 1993; www.wikipedia.org, 2006

2.3 Identificação de exemplos do uso de fachadas inclinadas na arquitetura brasileira

A etapa inicial desta pesquisa consistiu em identificar obras da arquitetura brasileira com fachadas inclinadas. A Tabela 2.1, a seguir, apresenta 54 obras deste tipo, em ordem cronológica, e as datas identificadas variam desde o modernismo até o período contemporâneo, mostrando que a concepção de fachada inclinada continuou presente mesmo após o fim do movimento moderno, na década de 60. No Apêndice A a mesma lista é apresentada, acompanhada de ilustrações e de algumas obras internacionais identificadas.

TABELA 2.1: Relação de obras com fachada inclinada.

Nº	OBRA	ARQUITETO	LOCAL	ANO
01	Teatro Municipal de Belo Horizonte	Oscar Niemeyer	Belo Horizonte/MG	1941
02	Projeto Conjunto Fabril Sidney Ross Co.	Afonso Eduardo Reidy	Rio de Janeiro/RJ	1943
03	Residência Prudente de Moraes	Oscar Niemeyer	Rio de Janeiro/RJ	1945
04	Projeto Iate Clube Fluminense	Oscar Niemeyer	Rio de Janeiro/RJ	1945
05	Residência Mendes	Oscar Niemeyer	Mendes/RJ	1946
06	Casa Benedito Levi	Vilanova Artigas	São Paulo/SP	1946
07	Centro Técnico de Aeronáutica	Oscar Niemeyer	S. J. dos Campos/SP	1947
08	Laboratório de Estruturas - CTA	Oscar Niemeyer	S. J. dos Campos/SP	1947
09	Projeto para o CTA	Afonso Eduardo Reidy	S. J. dos Campos/SP	1947
10	Projeto Auditório para Ministério da Educação	Oscar Niemeyer	Rio de Janeiro/RJ	1948
11	Estação Elevatória de Abastecimento de água	Afonso Eduardo Reidy	Rio de Janeiro/RJ	1948
12	Lavanderia e mercado - Conj. Resid. De Pedregulho	Afonso Eduardo Reidy	Rio de Janeiro/RJ	1950
13	Teatro Popular em Marechal Hermes	Afonso Eduardo Reidy	Rio de Janeiro/RJ	1950
14	Residência Maria Flor Vieira	Carlos Maximiliano Fayet	Porto Alegre/RS	1950
15	Fábrica Duchon	Oscar Niemeyer	São Paulo/SP	1950-51
16	Hotel Tijuco	Oscar Niemeyer	Diamantina/MG	1951
17	Escola Júlia Kubitschek	Oscar Niemeyer	Diamantina/MG	1951
18	Estádio do Morumbi	Vilanova Artigas	São Paulo/SP	1951
19	Residência Leonel Miranda	Oscar Niemeyer	Rio de Janeiro/RJ	1952
20	Estação de Televisão - Diários Associados	Oscar Niemeyer	Rio de Janeiro/RJ	1952
21	Colégio Paraguay-Brasil	Afonso Eduardo Reidy	Assunção/Paraguai	1952
22	Museu de Arte Moderna do Rio de Janeiro	Afonso Eduardo Reidy	Rio de Janeiro/RJ	1953
23	Museu de Arte Moderna de Caracas	Oscar Niemeyer	Caracas/Venezuela	1954
24	Auditório - Parque Ibirapuera - Projeto	Oscar Niemeyer	São Paulo/SP	1954
25	Ginásio do Clube Atlético Paulistano	Paulo Mendes da Rocha	São Paulo/SP	1958
26	Congresso Nacional	Oscar Niemeyer	Brasília/DF	1958-60
27	Residência Taques Bittencourt	Vilanova Artigas	São Paulo/SP	1959
28	Ginásio Itanhaém	Vilanova Artigas	Itanhaém/SP	1959

29	Ginásio de Guarulhos	Vilanova Artigas	Guarulhos/SP	1960
30	Teatro Brasília	Oscar Niemeyer	Brasília/DF	1960-63
31	Anhembi Tênis Clube	Vilanova Artigas	São Paulo/SP	1961
32	Residência na Cidade Jardim	Luiz Contrucci	São Paulo/SP	1961
33	Residência na Rua Francisca Moura	Acácio Gil Borsoi	João Pessoa/PB	196-
34	Projeto para Ginásio de Esportes	Ícaro de Castro Mello	S. B. do Campo/SP	1963
35	Estádio Governador Magalhães Pinto	Eduardo Mendes Guimarães Jr. / Gaspar Garreto	Belo Horizonte/MG	1964-65
36	Quartéis-Generais do II Exército	Paulo de Mello Bastos/Léo Bomfim Jr./Oscar Arine	São Paulo/SP	1965
37	Centro Cívico de Santo André	Rino Levi	Santo André/SP	1965-68
38	Residência Sondeyker	Alfredo Paesani/Fábio Penteado/Teru Tamaki	São Paulo/SP	1966
39	Concurso para Mercado Público	Massimo Fiocchi	Porto Alegre/RS	1967
40	Centro de Convivência Cultural	Fábio Penteado	Campinas/SP	1967-68
41	Centro Pompidou	Paulo Mendes da Rocha	Paris/França	1971
42	Ginásio de Esportes da Associação Cristã de Moços	Ivan Mizoguchi e Iara Dias Carvalho	Porto Alegre/RS	1971
43	Museu de Arte Contemporânea da USP	Paulo Mendes da Rocha	São Paulo/SP	1975
44	Residência Paulo Iwersen	Manoel Coelho	Curitiba/PR	1975
45	Edifício-sede da Acarpa	Luiz Netto, Orlando Busarello e Olívia Busarello	Curitiba/PR	1977
46	Residência Aníbal Maia	Oscar Mueller	Curitiba/PR	1977
47	Agência Azenha do Banco do Brasil	Silvio Jeager Rocha, Isabel Rocha, Cláudia Hagel e Renato Stoduto	Porto Alegre/RS	1981
48	Residência do arquiteto	Fernando e Ivone Canalli	Curitiba/PR	1982
49	Panteon da Liberdade	Oscar Niemeyer	Brasília/DF	1985
50	Museu de Arte Contemporânea	Oscar Niemeyer	Niterói/RJ	1996
51	Poupatempo Itaquera	Paulo Mendes da Rocha	São Paulo/SP	1998
52	Aeroporto de Belém	Sérgio Parada	Belém/PA	1997-98
53	Residência do arquiteto	Sérgio Parada	Brasília/DF	1998
54	Biblioteca Senac	Aflalo & Gasperini Arquitetos	São Paulo/SP	2002-04

Que classes devem ser identificadas na concepção de edifícios com a finalidade de se estabelecer um discurso crítico sobre eles? Como devemos caracterizar e dar nomes aos membros dessas classes? Que propriedades queremos que os elementos do projeto herdem das classes a que pertencem?

A partir da análise das obras identificadas na Tabela 2.1, percebeu-se que era possível caracterizá-las segundos os tipos definidos no Item 2.2.1, mas também segundo outros tipos de categorização que se sobrepõe ao primeiro. A primeira categorização está relacionada à maneira como o plano inclinado é usado na seção do projeto: no plano da fachada, na empena, nos elementos estruturais ou na mistura com plano e elementos estruturais. Já a segunda categorização refere-se ao tipo de transformação geométrica que dá origem ao volume do edifício a partir de sua seção.

O Esquema 2.1 mostra exemplos de obras pertencentes ao modernismo brasileiro que ilustram a primeira categorização.

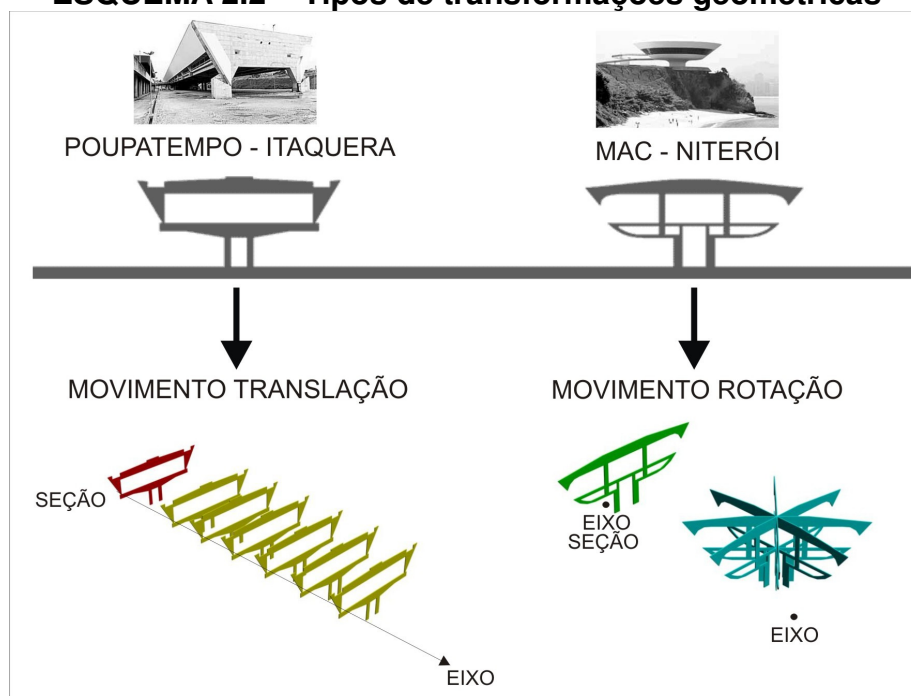
ESQUEMA 2.1 – Tipos de fachadas inclinadas

PLANO DA FACHADA	EMPENA INCLINADA	ESTRUTURA INCLINADA	ESTRUTURA INCLINADA E PLANO INCLINADO
			
Residência Leonel Miranda	Residência Benedito Levi	MAM - RJ	Fábrica Duchên

O Esquema 2.2 exemplifica os dois tipos principais de transformações geométricas presentes no processo de geração do volume dos edifícios identificados, a partir de sua seção. A primeira consiste na translação, ou seja, a repetição da seção ao longo de um eixo perpendicular a ela, e a segunda baseia-se no movimento de rotação da seção ao redor de seu centro, como propostos por Serapião (2001).

Neste trabalho, o conjunto de obras analisado compreende apenas edifícios que possuem volumes gerados a partir da extrusão da seção pelo movimento de translação.

ESQUEMA 2.2 – Tipos de transformações geométricas



Fonte das figuras: SERAPIÃO, 2001

2.4 Abordagem

Neste trabalho se procurou analisar um conjunto de obras como uma família de objetos e caracterizar suas semelhanças. Dessa forma, foi proposto um novo tipo de classificação de obras arquitetônicas de acordo com uma característica formal e específica – a fachada inclinada.

Para tanto, são analisados a seguir três conceitos de fundamental importância para a proposta contida neste trabalho: os conceitos de classificação, a definição de tipo e de semelhança de família.

A classificação será utilizada para categorizarmos esse conjunto de obras pelas suas características formais. Para isso, o conceito de semelhança de família e/ou tipo será empregado para definir quais as obras, por semelhança, deverão ser analisadas. A semelhança que iremos empregar neste estudo será do tipo formal, ou seja, analisaremos obras que possuem uma característica formal em comum, a fachada inclinada.

2.4.1 Classificação

Classificação é o processo de transferir elementos ou unidades em classes, de acordo com algum critério. Segundo Colquhoun (apud NESBITT, 2006), o arcabouço teórico, as unidades básicas e os critérios são elementos fundamentais para qualquer classificação.

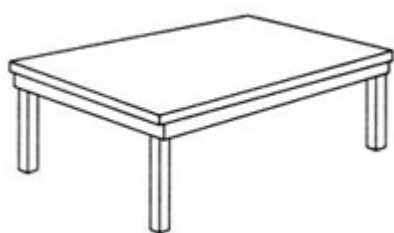
Segundo Alberto Pérez-Gómez (1983), temos a necessidade de classificar objetos para que possamos percebê-los, constituindo um setor intencional, que é o setor da existência – “a percepção é a nossa primeira forma de sabedoria” (PÉREZ-GÓMEZ, 1983, p. 3). Portanto, entender como se dá o reconhecimento de objetos é um passo fundamental no processo de compreensão e descrição daquilo que vemos. É por meio do reconhecimento que podemos determinar as propriedades desses objetos e especificar as relações existentes entre eles.

Em *The Logic of Architecture*, William Mitchell (1994) cita Miller e Johnson-Laird (1976), autores que sugerem o uso combinado de critérios formais e funcionais como sendo mecanismos humanos de reconhecimento e classificação dos objetos. Mitchell

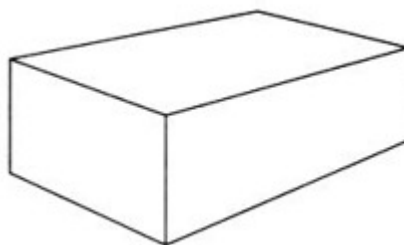
cita como exemplo a análise da definição da palavra ‘mesa’ (Figura 2.13) em um dicionário, discutida por esses autores:

Uma peça de mobília suspensa por um ou mais pés verticais e com uma superfície plana horizontal sobre a qual pode-se colocar objetos.
(MILLER e JOHNSON-LAIRD, 1976, apud MITCHELL, 1994, p. 218)

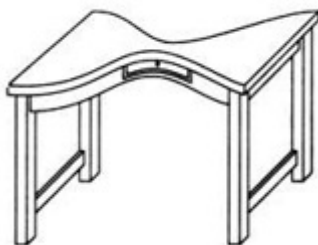
Miller e Johnson-Laird notaram que essa definição é composta por uma parte funcional e por outra perceptual, o que demonstra que existem sempre diferentes maneiras de se estabelecer categorias.



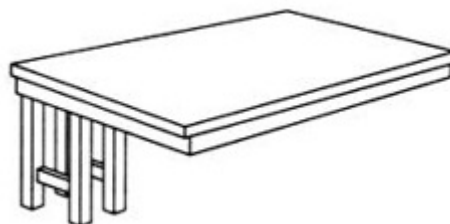
(a) é uma mesa



(b) pode servir como uma mesa



(c) é uma mesa ruim



(d) é uma mesa com estrutura inadequada

FIGURA 2.13: Instancias de uma mesa.

Fonte das figuras: MITCHELL, 1999, p. 219.

De maneira semelhante, Abraham A. Moles (1971) afirma que o método de classificação pode implicar na necessidade de subverter a ordem natural de nossas

percepções fenomenológicas. Muitas vezes é possível rearranjá-las segundo uma perspectiva diferente, seguindo uma ordem imposta a priori, fornecida como um princípio, por uma idéia, um conceito, um ponto de vista amplamente arbitrário: o critério de classificação, que pode levar a novas descobertas. Neste trabalho, edifícios que abrigam funções diferentes (como escolas, museus, ginásios e terminais aéreos) serão agrupados sob uma mesma categoria em consequência de suas semelhanças formais, e não funcionais.

Os mais importantes lógicos e filósofos da História utilizaram a classificação para a compreensão e análise do conhecimento. Aristóteles (apud EDGHILL, 2001), por exemplo, concebeu a classificação como um exercício mental.

O estudo dos conceitos alcançou em Aristóteles um desenvolvimento notável, introduzindo a forma da predicabilidade. O filósofo propôs dez predicados que poderiam ser aplicados a qualquer objeto que se desejasse classificar: substância, quantidade, qualidade, relação, ação, posse, lugar, tempo, situação e passividade. Esses predicados podem ser chamados de categorias, ou seja, um atributo, uma qualidade ou uma característica de um objeto.

Além do método proposto por Aristóteles, foram desenvolvidos, ao longo da história, outros diferentes métodos de classificação dos objetos, como a taxonomia, a categorização e a ontologia.

A **categorização** (JACOB, 2004) é um processo no qual idéias e objetos são reconhecidos, diferenciados e entendidos. Implica o agrupamento dos objetos em categorias, usualmente para um propósito específico. A categorização é fundamental na predicação e na inferência (Figura 2.14).

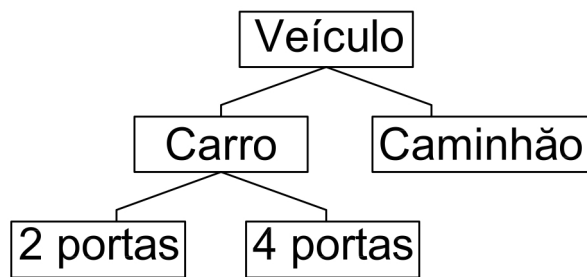


FIGURA 2.14: Esquema de uma categorização.

Segundo Jacob (2004), a diferença entre classificação e categorização é que a classificação seria o processo de transferência dos elementos em grupos ou classes, de acordo com um conjunto de princípios. Já a categorização se refere ao processo de divisão dos elementos dentro de um grupo ou categoria, que reúne elementos que contêm semelhanças entre si.

A **taxonomia** (BLOOM, 1964) é uma prática da classificação, na qual se aloca um objeto ou um conceito dentro de um conjunto de categorias, com base nas propriedades do objeto ou do conceito. Geralmente, os objetos são alocados em uma estrutura hierárquica, representada através de uma estrutura em árvore (Figura 2.15)¹.

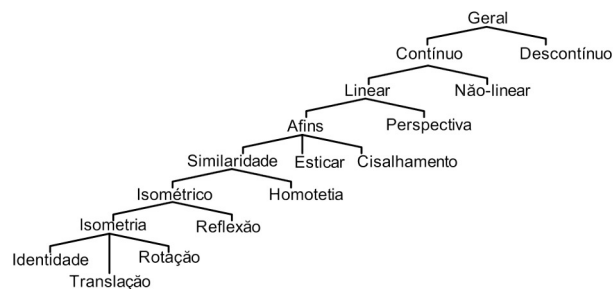


FIGURA 2.15: Taxonomia das transformações geométricas

Fonte da figura: traduzido de MITCHELL, 1999, p. 121

¹ Os escritos na figura são observações da autora, de acordo com as explicações feitas em sala de aula na disciplina realizada sobre o livro *The Logic of Architecture*, de W. Mitchell.

Immanuel Kant (2001), filósofo alemão, define categoria como um puro conceito de entendimento. Uma categoria kantiana é uma categoria de aparência de qualquer objeto. A palavra categoria vem do grego *κατηγορία*, significando “aquilo que pode ser predicado ou assumido como alguma coisa”. Kant acreditava que a habilidade de entendimento do ser humano para pensar sobre e reconhecer um objeto seria a mesma coisa que fazer um julgamento desse objeto, afirmando: “nossa habilidade para julgar é equivalente a nossa habilidade para pensar” (KANT, 2001, p. 81). Julgar é pensar que um objeto possui uma certa qualidade ou atributo. Diferente de Aristóteles, Kant introduz doze predicados (atributos) para serem assimilados por quaisquer objetos: quantidade (universal, particular, singular), qualidade (afirmativa, negativa, infinita), relação (categórica, hipotética, distinta) e modalidade (problemática, afirmativo, irrefutável).

Finalmente, a **ontologia** (GRUBER, 1992) é uma parte da filosofia que trata da natureza do ser, isto é, do ser concebido como tendo uma natureza comum que é inerente a todos e a cada um dos seres. A ontologia também pode ser definida como sendo um vocabulário controlado expresso em uma linguagem de representação. Essa linguagem possui uma gramática que usa os termos do vocabulário para expressar algo significativo de um assunto. Na ontologia descreve-se:

- 1)os indivíduos, que são os objetos básicos, ou instâncias;
- 2)as classes, designadas como os conjuntos de objetos, ou conceitos;
- 3)os atributos, sendo as características compartilhadas entre os objetos;
- 4)os relacionamentos, mostrando como os objetos se relacionam com outros objetos.

2.4.2 Tipo

Uma maneira mais tradicional de categorizar a arquitetura é a tipologia, adotada por Giulio Carlo Argan. Pioneiro nos estudos das tipologias arquitetônicas, Argan (1963) definiu “tipo” da seguinte maneira:

No processo de comparação e justaposição de formas individuais para determinar o “tipo”, são eliminadas as características particulares de cada prédio, permanecendo apenas aquelas que são comuns a todas as unidades da série. Portanto, o “tipo” se constitui pela redução de um complexo de variantes formais à forma básica comum. Se o “tipo” se origina desse processo de regressão, não se pode tomar a forma original como análoga a uma coisa tão neutra quanto uma grade estrutural. A forma básica deve ser entendida como a estrutura interior de uma forma ou como um princípio que contém a possibilidade de infinitas variações formais e modificações estruturais do “tipo” em si. De fato, não é necessário demonstrar que, se a forma final de um edifício é uma variante de um “tipo” deduzido de uma série formal anterior, o acréscimo de outra variante terá como consequência inevitável à determinação de uma mudança mais ou menos considerável do “tipo” como um todo (ARGAN, 2006, p. 270)

Portanto, o “tipo” utilizado neste trabalho é composto pelos edifícios com fachadas inclinadas. Esses edifícios serão os elementos ou instâncias deste “tipo”, ou seja, entidades físicas únicas que encontramos inseridas em um lugar específico no tempo e no espaço (Figura 2.16). Diferentes elementos podem ser de um mesmo tipo por possuírem algo em comum, como, por exemplo, sua forma (MITCHELL, 1999).

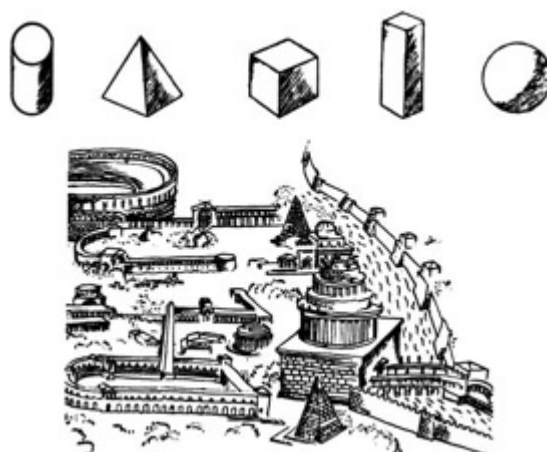


FIGURA 2.16: Rascunho de Le Corbusier: tipos de formas que podemos encontrar em um específico lugar

Fonte de Figura: MITCHELL, 1999, p. 49

2.4.3 Semelhança de Família

O termo semelhança de família foi introduzido por Ludwig Wittgenstein, filósofo alemão, em 1958, em seu livro *Investigações Filosóficas*, no qual descreve a noção da gramática da ciência. Segundo Wittgenstein (1999), quando há vários objetos semelhantes, ou seja, quando há aspectos similares entre eles, pode-se agrupá-los em uma mesma família. Wittgenstein atribui este conceito em seu estudo da gramática da ciência, atendendo às novas exigências epistemológicas das idéias científicas contemporâneas (CONDÉ, 2004).

A ilusão gramatical está no anseio por um ideal de perfeição que se encontraria no mito intelectualista de que um pensamento correto é expresso por uma linguagem perfeita e que, com isso, se alcançaria a essência do mundo. A noção de que há "algo em comum" a esses conceitos, que lhe permitira conectar a essência da proposição com a essência do mundo, cede lugar então para a noção de "semelhanças de família" (HEBECHE, 2003).

Wittgenstein (apud LAMPREIA, 1958), que faz a esse respeito a seguinte análise:

Considere, por exemplo, os processos aos quais chamamos 'jogos'. Quero dizer os jogos de tabuleiro, os jogos de cartas, os jogos de bola, os jogos Olímpicos, etc. O que é comum a todos eles? – Não diga: 'Tem de haver alguma coisa em comum, ou não seriam chamados de 'jogos'' – mas *olhe e veja* se há algo em comum. – Porque se você olhar para eles, não verá algo que seja comum a *todos*, mas semelhanças, relações... Olhe, por exemplo, para os jogos de tabuleiro com suas variadas relações. Agora passe para os jogos de cartas; aqui você encontrará muitas correspondências com o primeiro grupo, mas muitos aspectos em comum desaparecem, outros aparecem. Quando passamos a seguir para jogos de bola, muito do que é comum permanece, mas muito é perdido. – São todos 'divertidos'? ... Ou há sempre ganhar e perder, ou competição entre os jogadores? Pense na paciência. Nos jogos de bola há ganhar e perder; mas quando uma criança joga sua bola na parede e a apanha de novo, esse aspecto desapareceu... E o resultado dessa análise é: vemos uma rede complicada de semelhanças que se sobrepõem e se cruzam: algumas vezes semelhanças gerais, algumas vezes semelhanças de detalhe. (§66)

Não consigo pensar em melhor expressão para caracterizar essas semelhanças do que 'semelhanças de família'; porque as várias semelhanças entre os membros de uma família: constituição, traços faciais, cor dos olhos, andar, temperamento, etc. etc. se sobrepõem e cruzam da mesma maneira. E eu direi: 'jogos' formam uma família. (§67)

Devemos, portanto, evitar o uso da palavra "essência", pois ela faz com que pensemos em reunir os objetos de acordo com algo comum. Já a semelhança de família expressa o agrupamento de aspectos similares, distribuídos e combinados de diferentes maneiras entre os indivíduos de uma família.

O conceito de semelhança de família parece ser o mais adequado para a caracterização dos edifícios analisados neste trabalho como um grupo. Da mesma maneira que em uma família, nem todas as características estão presentes em todos os indivíduos do grupo. Cada indivíduo possui uma combinação única de diferentes características.

3 Metodologia

Este capítulo é dividido em duas partes. Na primeira é apresentado, de maneira detalhada, o método de análise a ser utilizado na pesquisa, denominado gramática da forma. Na segunda, os procedimentos metodológicos e os materiais utilizados nas diferentes etapas da pesquisa são expostos.

A gramática da forma tem sido pouco utilizada em estudos sobre a arquitetura brasileira, sendo as únicas exceções as dissertações de Rosirene Meyer (2003), Raquel Weber (2005) e Eduardo Westphal (2007), todos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Por isso, fez-se necessário realizar, primeiramente, um estudo aprofundado sobre esse método e suas aplicações na análise de diferentes linguagens artísticas e arquitetônicas.

Além disso, a gramática da forma possibilita a geração de muitas alternativas de projeto, aumentando a amplitude de escolha do arquiteto, tornando-se possível selecionar o melhor projeto, entre vários.

3.1 A gramática da forma: arquitetura como linguagem

Segundo Mitchell (1990) há uma forte analogia entre a linguagem arquitetônica e a linguagem verbal. Para a obtenção de uma linguagem verbal, é essencial, por exemplo, que uma palavra seja instanciada em sentenças e em certas combinações com outras palavras, de acordo com as regras da gramática da língua. Já para a linguagem arquitetônica, esta só poderá ser instanciada em determinadas combinações com alguns elementos, como colunas, vigas e paredes. Colquhoun (2006, p. 282), define linguagem como sendo um “sistema complexo de representação, em que as emoções básicas se estruturam em um sistema intelectualmente coerente”.

Primeiramente é necessário definir o significado da palavra instância. Segundo Mitchell (1990), uma instância é um elemento de um determinado tipo. Por exemplo, na palavra **gramática**, a letra **a** é instanciada três vezes, a letra **m** é instanciada uma vez e a letra **x** não é instanciada nenhuma vez.

Sendo assim, a ocorrência de instanciamento de elementos pode acontecer nas palavras, que são instâncias das letras do alfabeto, até em uma obra arquitetônica. No Coliseu, por exemplo, arcos são instanciados centenas de vezes. Mas também, uma obra arquitetônica pode ser instanciada por muitas paredes, colunas e vigas, que são elementos arquitetônicos identificáveis.

Mitchell cita uma analogia que está presente na maneira como Alberti lidava com colunas, bases, entablamentos e arcos, o que foi descrito por Wittkower (1962):

Em seus edifícios religiosos, Alberti evitava a combinação de arcos e colunas. Quando empregava colunas, ele as coroava com um entablamento reto, e quando utilizava arcos, ele os fazia repousar sobre pilares, com ou sem a aplicação de meias-colunas decorativas. Para Alberti, a arquitetura romana servia de modelo para esses dois tipos de composição. Contudo, enquanto que o primeiro tinha suas origens na Grécia, sendo posteriormente apropriado pelos romanos, o segundo havia sido desenvolvido em Roma. A composição com colunas e

entablamento reto baseia-se no significado funcional da coluna, enquanto a composição com arcos tem como fundamento os conceitos de coesão e unidade da parede portante. No Coliseu, por exemplo, os arcos podem ser interpretados como resíduos de uma parede perfurada, sobre a qual meias-colunas e entablamento são sobrepostos como ornamentos. Na prática, portanto, o conceito de coluna de Alberti é essencialmente grego, enquanto sua concepção de arco é essencialmente romana. (MITCHELL, 1994, p. 131)

Assim como as regras gramaticais de uma linguagem verbal, as regras de uma linguagem de formas arquitetônicas podem ser especificadas de diferentes maneiras. Uma dessas maneiras consiste em apresentar regras prescritivas, tal como é feito nas cartilhas de ensino de línguas, método muito apreciado pelos teóricos da arquitetura renascentista. Palladio, por exemplo, em seus *Quattro Libri d'Archittetura* (1570), introduzia as regras de composição da seguinte forma:

Os cômodos devem ser distribuídos a cada lado da entrada e do hall; e deve-se observar que aqueles do lado direito devem corresponder àqueles do lado esquerdo, de maneira que a construção seja a mesma de um lado e do outro (...) (MITCHELL, 1994, p. 134)

Regras de composição arquitetônica apresentadas sob a forma de texto estão presentes em diversos tratados, manuais e códigos arquitetônicos. Contudo, é possível também descrever essas regras de uma maneira gráfica e visual. De acordo com Gips (1999), a gramática da forma (*shape grammar*), busca justamente fazer isso.

A gramática da forma, ou *shape grammar*, foi desenvolvida na década de 70 por George Stiny e James Gips. Ela se baseia na gramática generativa de Noam Chomsky, criada na década de 50, e consiste na adaptação da linguagem verbal para a linguagem das formas.

Segundo Knight (1994), a gramática generativa de Chomsky constitui-se em um “modelo para caracterizar as linguagens naturais: um vocabulário de símbolos ou palavras, associadas a um conjunto de regras que especifica como elementos do

vocabulário podem ser combinados para formar correntes de símbolos ou sentenças em uma linguagem”, ou seja, uma sentença sintaticamente correta é aquela que obedece às regras de uma gramática.

As regras são usadas para gerar novas composições na linguagem. Smyth e Edmonds (2000) afirmam que, como na gramática lingüística, que contém um conjunto finito de regras capazes de gerar um conjunto infinito de composições lingüísticas, a gramática da forma consiste em uma série de regras que também são usadas para gerar instâncias infinitas de composições pertencentes a uma certa linguagem formal.

“Gramática” aqui é usada de uma maneira formal, técnica, um tipo particular de construção matemática. Chomsky (1957) definiu vários tipos de gramáticas formais para encontrar um mecanismo que gerasse sentenças da gramática da língua inglesa, produzindo seqüências de símbolos que depois poderiam ser substituídos por palavras, formando frases.

Segundo Chomsky (1977), a gramática generativa surgiu de uma ruptura à lingüística estrutural. Nas gramáticas estruturais não havia a preocupação de como a intuição do leitor pudesse ajudá-lo na compreensão e criação de novas formas da língua, e a intuição foi tida como o primeiro objetivo para se criar uma gramática generativa. A gramática generativa foi concebida, inicialmente, como um conjunto finito de regras, que tinha a forma $\vartheta \rightarrow \Psi$, ou seja, toda vez que encontrar o elemento ϑ presente no lado esquerdo da regra, deve substituí-lo pelo elemento que está do lado direito da regra, Ψ . Essas gramáticas formais são baseadas nos sistemas de produção.

A noção de sistemas de produção foi introduzida por Post (1943) e consiste em um sistema de regras formado por duas situações ligadas por uma seta da esquerda para a direita. Toda vez que a situação do lado esquerdo de uma regra é identificada, é possível substituí-la pela situação que está ao lado direito da mesma regra. O sistema é também conhecido como *if-then*: se uma determinada situação é encontrada, *então* ela deverá ser substituída por outra situação. Sistemas de produção têm sido aplicados em um grande número de áreas, como a lingüística, *pattern recognition*, psicologia

cognitiva, além das artes e arquitetura, por meio das *shape grammars* (GIPS e STINY, 1980).

Outra maneira de representar a gramática generativa de Chomsky é pelo sistema de árvore (Figura 3.1), que descreve as relações estruturais dos elementos de uma linguagem. Essa estrutura também está presente na gramática da forma.

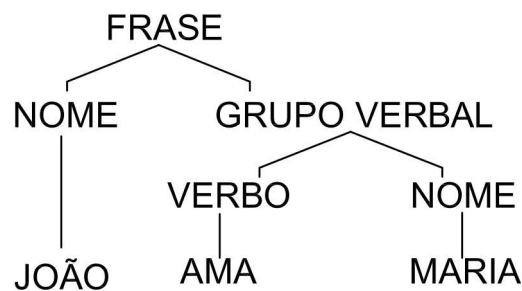


FIGURA 3.1: Representação em árvore da gramática generativa de Chomsky

Peter Eisenman foi um dos primeiros arquitetos a se influenciar pela gramática generativa de Chomsky. Eisenman desenvolveu um conjunto de regras para a geração de formas arquitetônicas. A Casa IV (Figura 3.2) é um exemplo de projeto gerado por essas regras, que consiste na divisão de um espaço cúbico em 3 partes, para obter novos compartimentos dentro desse espaço. Em seguida, um corte diagonal no cubo é realizado, observando os lados negativos que se formaram com o corte. A seguir, distribui-se as funções em cada compartimento.

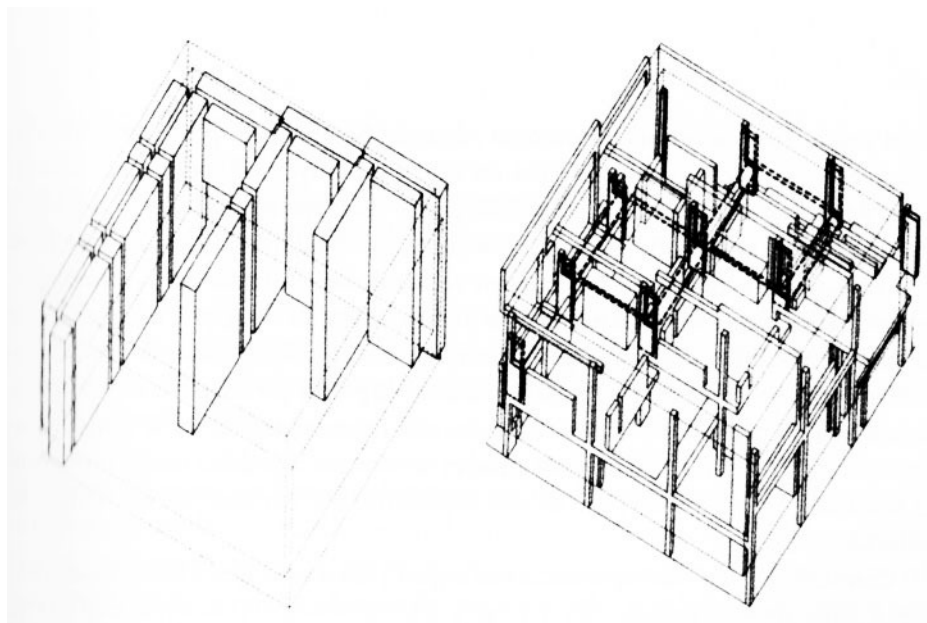


FIGURA 3.2: Casa IV – casa projetada a partir de regras desenvolvidas por Eisenman

Fonte da figura: NESBITT, 2006. p. 151

A gramática da forma, que também usa regras compositivas para gerar um desenho, foi desenvolvida, inicialmente, para a geração de composições originais de pintura.

Em um artigo de 1976, intitulado *Two Exercises in formal composition*, Stiny descreveu aplicações que se tornaram um marco para que surgissem novas aplicações da gramática da forma, sugerindo que elas fossem aplicadas na educação e na prática. O primeiro exercício consistia na utilização da gramática da forma em uma composição original, ou seja, na criação de uma nova linguagem de desenho ou um novo linguagem. O segundo exercício, por sua vez, consistia na aplicação da gramática para a análise de uma linguagem de desenho já existente.

Gips (1999) sugere 4 maneiras para a utilização da gramática da forma:

- 1) Síntese – gera formas baseada em uma gramática da forma (é a maneira mais comum);

- 2) Análise – determina se uma forma pode ser gerada por uma gramática, e se puder, determina a seqüência das regras de composição que devem ser usadas;
- 3) Inferência – define uma gramática da forma a partir de um conjunto de formas;
- 4) Design generativo – define gramáticas como um processo de projeto.

No exercício analítico, o tipo de gramática da forma utilizado foi a gramática parametrizada, que emprega parâmetros para descrever e gerar linguagens de desenhos já existentes. Pode-se dizer que há dois tipos de gramáticas da forma, a gramática normal ou standard e a gramática paramétrica, como afirmam Eilouit e Al-Jokhadar (2007). Enquanto na gramática standard a maioria dos parâmetros das formas são constantes, na gramática paramétrica as formas tendem a ser mais flexíveis e variáveis. Por causa dessa flexibilidade, a gramática paramétrica é mais prática e mais utilizada que a standard.

Artigos vêm sendo publicados utilizando-se a gramática da forma como metodologia para a análise de obras ou linguagenss arquitetônicos a partir de suas regras compositivas, como é o caso dos trabalhos que analisam as obras de Andrea Palladio (MITCHELL e STINY, 1978 a, b). O artigo intitulado *The Palladian grammar*, deu início a um trabalho mais ambicioso e complexo com o uso da gramática da forma parametrizada (Figura 3.3 a). Exemplos de outros artigos que fazem tal análise de vários linguagenss arquitetônicos são aqueles que analisaram a arquitetura de Giuseppe Terragni (FLEMMING, 1981) os encostos de cadeiras da linguagem Hepplewithe (KNIGHT, 1980), as casas de pradaria de Frank Lloyd Wright (KONING e EIZENBERG, 1981) (Figura 3.3 b), os bangalôs da cidade de Búfalo (DOWNING e FLEMMING, 1981), as casas Queen Anne (FLEMMING, 1987), os jardins do Taj Mahal (Figura 3.3 c), e o Conjunto Malagueira de Álvaro Siza (DUARTE, 2000), entre outros.

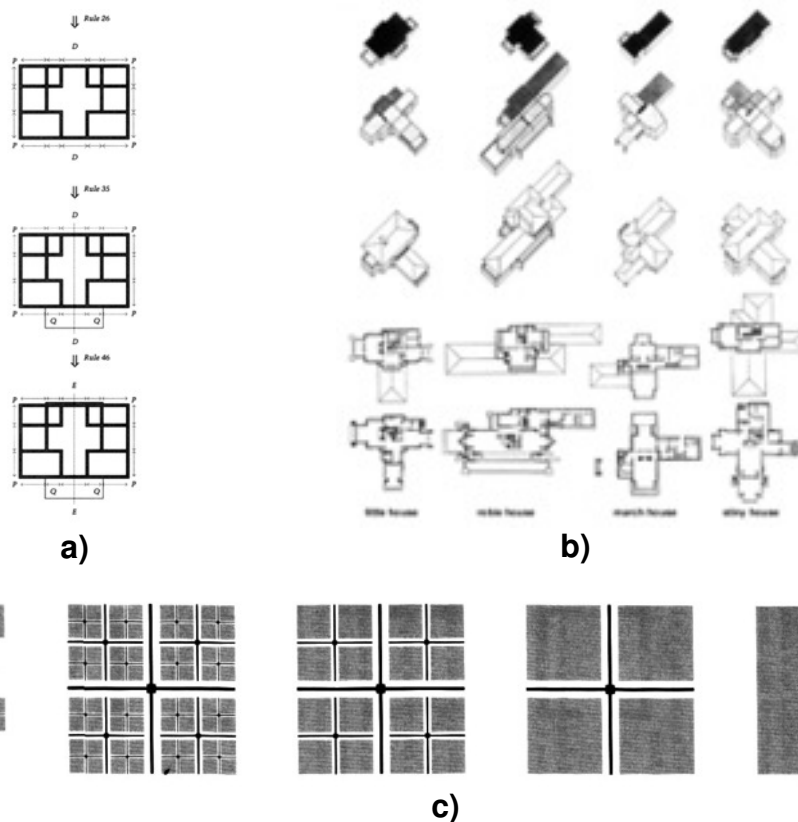


FIGURA 3.3: (a) Gramática Palladiana: regras de adição da entrada anterior e inflexão da parede da fachada posterior na Villa Malcontenta; (b) Gramática da forma de uma casa de pradaria de Frank Lloyd Wright; (c) A gramática da forma dos jardins de Taj Mahal

Fontes das Figuras: (a) MITCHELL, 1994. p. 166; (b) KNIGHT, 1999; (c) MITCHELL, 1994, p. 136.

São descritos a seguir alguns dos principais artigos publicados na área de gramática da forma, artigos estes que foram usados como referência neste trabalho. Como se verá, embora na maioria dos casos a gramática da forma seja utilizada para a análise, em alguns deles propõe-se um uso sintético dessa gramática, como no artigo de Stiny intitulado Kindergarten grammars (1990).

3.1.1. Kindergarten grammars

Em 1980, Stiny propôs uma abordagem específica para a criação de gramáticas originais, descrita no trabalho *Kindergarten grammars: designing with Froebel's building gifts*. O método é baseado no uso dos blocos geométricos de madeira que faziam parte do sistema educativo infantil desenvolvido pelo educador alemão Friederich Froebel no século XIX. Segundo Stiny (1980), nos jardins de infância, a criança brinca com um ou outro bloco e descobre as propriedades e possibilidades de composições que podem ser formadas. Já no método utilizado tradicionalmente no atelier de arquitetura, ao invés de blocos de madeira, utilizam-se elementos arquitetônicos e estruturais, pertencentes a programas arquitetônicos, tipologias de construções, estilos históricos, referências simbólicas, doutrinas estéticas, entre outros. Ao empregar os blocos de Froebel no atelier, Stiny pretendia incentivar os alunos de arquitetura a criarem composições em três dimensões (Figura 3.4).

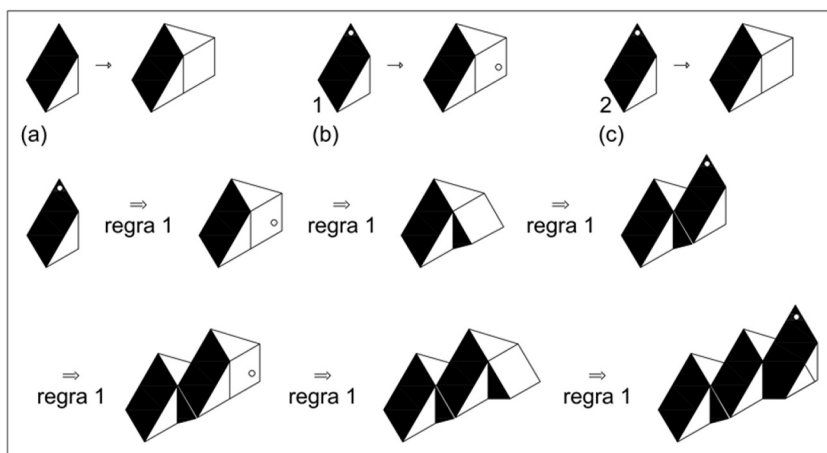


FIGURA 3.4: A gramática da forma utilizando bloquinhos de madeira de Froebel

Fonte da figura: STINY, 1980. p. 435.

3.1.2 Hepplewhite-style chair-back designs

No artigo *The generation of Hepplewhite-style chair-back designs*, Knight (1980) analisa 3 encostos de cadeiras em estilo Hepplewhite, e captura o que é similar entre todas as cadeiras. Knight (1980) desenvolve uma gramática da forma paramétrica, na qual são definidos os paradigmas e regras para a construção de novos exemplos. Esta gramática paramétrica especifica as regras formais, que geram não apenas os três desenhos do conjunto original, mas também uma grande variedade de novos desenhos, dentro dos limites do paradigma.

Segundo Knight (1980), essas características únicas forneceram a base para o desenvolvimento da gramática da forma paramétrica, pela geração de modelos retilíneos simples. Finalmente, tem-se um procedimento no qual há a substituição desses modelos retilíneos por desenhos curvilíneos, compatíveis com a linguagem Hepplewhite (Figura 3.5). A primeira forma, à esquerda, é a forma inicial. Pela aplicação das regras 1, 2, 3 e 4, é formado o desenho de um encosto de cadeira, com linhas retas (terceira linha, à esquerda). Para as linhas tornarem-se curvilíneas, aplica-se uma regra que substitui as linhas retas por linhas curvas.

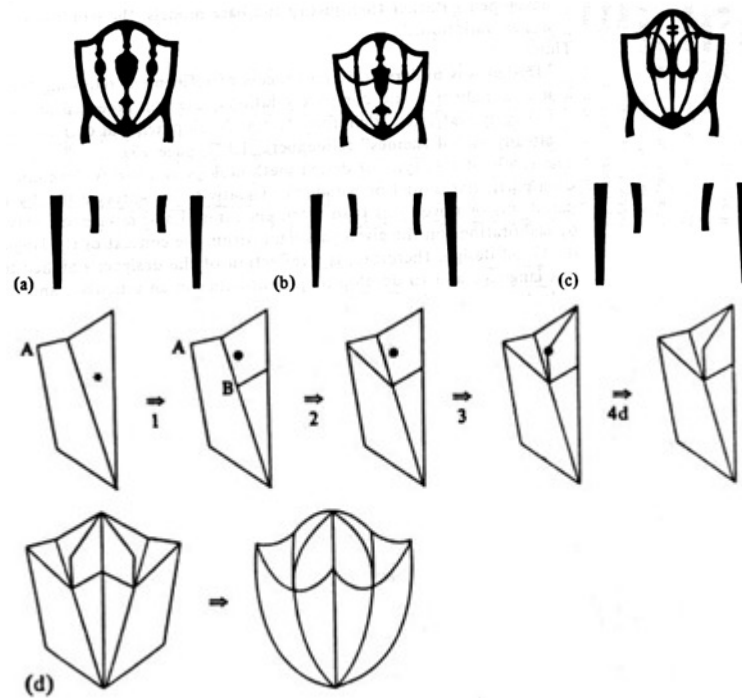


FIGURA 3.5: Imagem superior: encostos de cadeira estilo Happlewhite. Imagem inferior: aplicação das regras para a geração de um exemplo do estilo

Fonte das figuras: KNIGHT, 1980. p. 227; _____, 1980. p. 236.

3.1.3 Queen Anne houses

No artigo *More than the sum of parts: the grammar of Queen Anne houses* (1986), Flemming demonstra como o formalismo da gramática da forma pode ser usado para caracterizar, de uma maneira precisa, explícita e compreensível, o linguagem das casas Queen Anne. No processo de desenvolvimento da gramática, o autor examina os exemplos minuciosamente. Em particular, Flemming teve que lidar com muitos aspectos da organização da planta, massa e articulação entre os cômodos, características que são geralmente negligenciadas quando se descrevem as casas Queen Anne. Como resultado, temos a demonstração de como essas partes da casa se relacionam umas com as outras e a explicação da geometria geral, conforme as premissas da estética da linguagem (Figura 3.6).

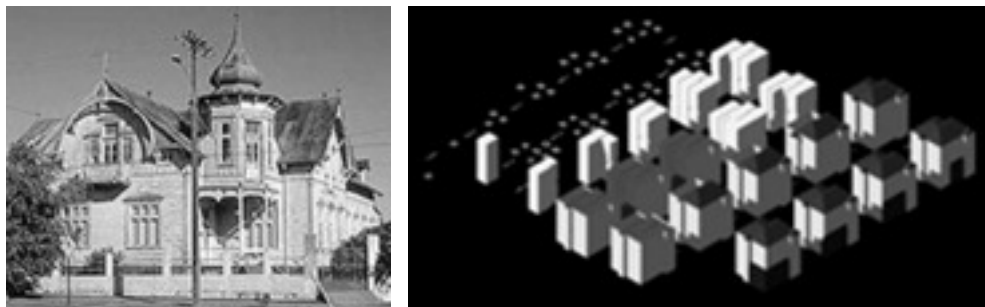


FIGURA 3.6: Uma casa do estilo Queen Anne e sua geração através da gramática da forma

Fonte das figuras: www.wikipedia.org; CYPRIANO, 2006.

3.1.4. Aplicações da gramática da forma

Tanto o artigo Hepplewhite-style chair-back, quanto o Queen Anne houses, apresentam uma gramática da forma analítica e semelhante ao método que foi utilizado neste trabalho. A partir de uma análise de um *corpus* determinado, as gramáticas da forma para cada linguagem são desenvolvidas, com seus vocabulários e regras de composição. Cada um dos trabalhos descritos acima possui características semelhantes, como:

- Realçam a estrutura e o aparecimento de instâncias conhecidas da linguagem;
- Fornecem as convenções e critérios necessários para reconhecer quando uma composição qualquer é uma instância da linguagem;
- Oferecem as ferramentas compositivas necessárias para gerar novas instâncias da linguagem. (SMYTH e EDMONDS, 2000).

Çagdas (1996), Chiou e Krishnamurt (1995), entre outros pesquisadores, têm usado o formalismo da gramática da forma para definir linguagens de projeto. O

processo típico para construir uma gramática da forma começa pela análise do corpo do trabalho escolhido, para depois definir uma gramática que reproduzirá aquele corpo do trabalho. Se a gramática pode gerar os projetos originais na análise, então pode ser considerada uma descrição formal da linguagem analisada.

3.1.5 Implementações da gramática da forma

A teoria e aplicações da gramática da forma estão bem documentadas e representadas na literatura na área de *design & computation* (MARCH e KNIGHT, 1997). Através desses trabalhos, a gramática da forma tornou-se um paradigma na teoria de projeto e no *computer-aided design* (MITCHELL, 1975). Eilouit e Al-Jakhadar (2007) afirmam que, se os projetistas podem reconhecer e prever muitas opções de composições, é porque o número de parâmetros da gramática paramétrica é pequeno, mas se o número de parâmetros é grande e as relações espaciais mais complexas, as gramáticas da forma tornam-se muito confusas para serem aplicadas manualmente.

Para isso, a implementação computacional das gramáticas da forma facilita a busca de soluções com o uso de gramáticas e parâmetros mais complexo. A relação entre gramáticas da forma e implementações computacionais pode ser assim descrita, de acordo com Tapia (1999, 1):

Naturalmente, as gramáticas da forma ajudam na implementação computacional da seguinte maneira: o computador esforça-se nas tarefas de registros, ou seja, na representação e operação de contar formas, regras e gramáticas, e na apresentação de alternativas corretas de desenhos. Já o projetista especifica, explora e desenvolve linguagens de desenhos, selecionando as alternativas.

3.1.6 Gramática da forma – definições

Para que seja possível apresentar uma clara definição da gramática da forma, faz-se necessário definir primeiramente alguns termos importantes, como forma, relação espacial, vocabulário, regras de composição e marcadores.

Forma

Uma forma é um arranjo limitado de linhas definidas em um plano cartesiano, com um eixo real e uma medida euclidiana associada. Cada linha, por sua vez, constitui uma forma, a qual pode ser manipulada através das transformações euclidianas, que são produzidas para mudar a orientação, localização, reflexão ou o tamanho de uma determinada forma. Translação, rotação, reflexão e escala são exemplos de transformações euclidianas (STINY, 1980).

Relação espacial

Segundo Knight (1993), as relações espaciais especificam as maneiras pelas quais as formas devem ser justapostas. As relações espaciais são definidas através de regras aditivas e subtrativas (Figura 3.7 a).

Vocabulário

Vocabulário é um conjunto finito de formas. Neste caso, nenhuma forma é igual a outra do mesmo conjunto (Figura 3.7 b).

Regras de composição

Regras de composição são regras formais que são utilizadas para a geração de projetos arquitetônicos. São baseadas no sistema de produção de Post (1943). A condição do lado esquerdo da regra é uma forma do vocabulário. O lado direito da regra, apresenta uma relação espacial (Figura 3.7 c).

Marcadores

Os marcadores, também chamados de *labels*, são etiquetas colocadas sobre as formas por dois motivos. O primeiro motivo é marcar onde a segunda forma a ser adicionada através da regra de composição será colocada (Figura 3.7 d). O segundo motivo para a adição de marcadores é a necessidade de redução da simetria da forma.

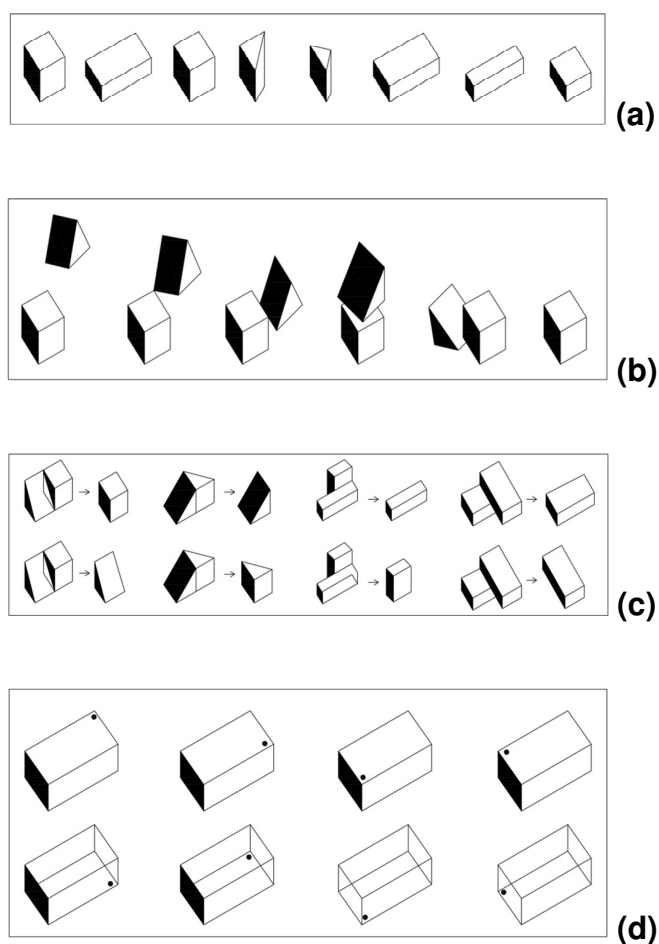


FIGURA 3.7: (a) Exemplos de formas de um vocabulário; (b) Exemplos de relações espaciais entre as formas; (c) Exemplos de regras de composição; (d) Exemplos de marcadores em uma forma
 Fontes das figuras: (a) STINY, 1980, p. 417; (b) _____, 1980, p. 418; (c) _____, 1980, p. 430; (d) _____, 1980, p. 433.

Gramática da forma

Segundo Knight (1999) uma gramática da forma pode ser definida como “um conjunto de regras gráficas que podem ser aplicadas passo a passo para gerar um conjunto ou linguagem de composições.”²

Uma gramática da forma define, portanto, um conjunto de composições (ou projetos, no caso da arquitetura) denominado linguagem, e pode ser expressa simbolicamente da seguinte maneira:

$$S = (V_t, V_m, R, I).$$

onde

- S é uma gramática da forma;
- V_t é um conjunto finito de formas, chamado de vocabulário;
- V_m é um conjunto de símbolos, chamados de marcadores, usados para controlar a aplicação das regras e para determinar as situações terminais;
- R é um conjunto de regras, definidas a partir das relações espaciais possíveis entre as formas do vocabulário, que são aplicadas sobre elas;
- I é a situação inicial sobre a qual se inicia o processo de aplicação de regras com o objetivo de gerar uma composição dentro da linguagem desejada. Dessa situação inicial podem fazer parte uma ou mais formas do vocabulário com ou sem marcadores, ou apenas um ou mais marcadores.

Uma regra de uma gramática da forma pode ser representada pela seguinte expressão:

² Texto traduzido pela autora.

$R(u \rightarrow v)$

onde

- R é uma regra;
- u é chamado o lado esquerdo da regra, onde é estabelecida a condição necessária para que a regra possa ser aplicada (IF);
- v é chamado o lado direito da regra; onde é estabelecido o que resultará da aplicação da regra (THEN).

Ao processo de geração de uma composição por meio da aplicação das regras de uma gramática de forma dá-se o nome de derivação. Uma derivação é a aplicação sucessiva de regras de uma gramática da forma. A derivação termina quando não é mais possível aplicar regras (Figura 3.8).

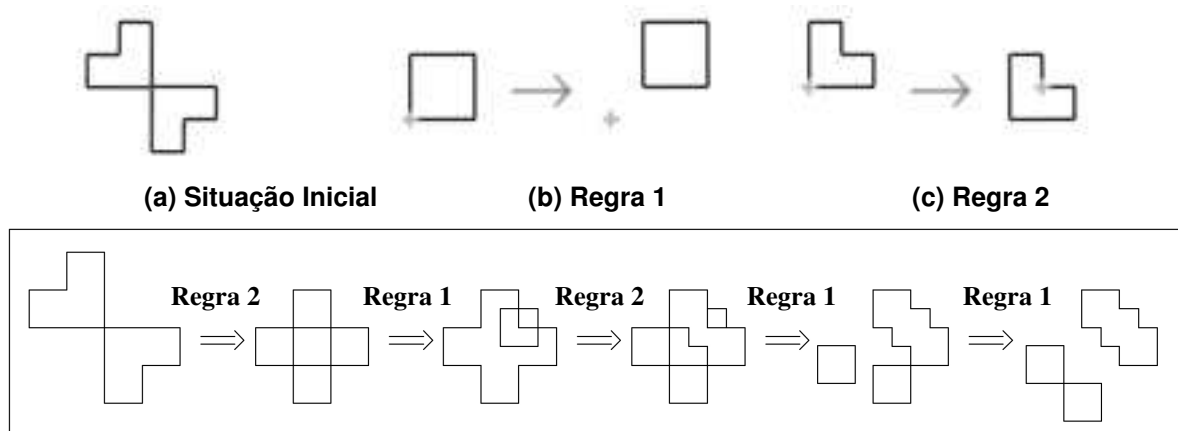


FIGURA 3.8: Derivação de uma gramática da forma

Fonte da figura: KNIGHT, 1999.

A construção de uma gramática da forma se dá em 4 estágios (Figura 3.9):

1º - Um vocabulário de formas é especificado. Essas formas oferecem os elementos construtivos básicos para o projeto;

2º - As relações espaciais entre as formas do vocabulário são determinadas;

3º - As regras formais são especificadas a partir dessas relações espaciais;

4º - Com a especificação dos elementos acima, dá-se início a uma derivação, ou seja, um processo pelo qual será gerada uma composição da linguagem.

A derivação constitui-se de três etapas:

4.1 Seleciona-se uma situação inicial que dará início à derivação. Em geral essa situação consiste simplesmente em uma forma escolhida dentre as formas do vocabulário. Em alguns casos a situação inicial pode ser constituída apenas por um marcador.

4.2 As regras formais são aplicadas, de maneira seqüenciais sobre a forma inicial e as que forem criadas, resultando na geração de uma composição.

4.3 Em um determinado momento da derivação é necessário decidir se a composição está pronta para parar de aplicar regras. Muitas vezes isso é feito por meio da aplicação da regra de terminação, que elimina os marcadores das formas da composição.

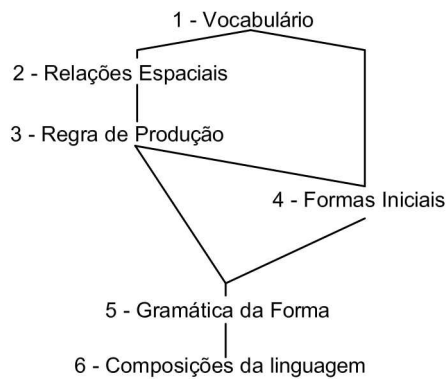


FIGURA 3.9: Programa construtivo para a definição de linguagens

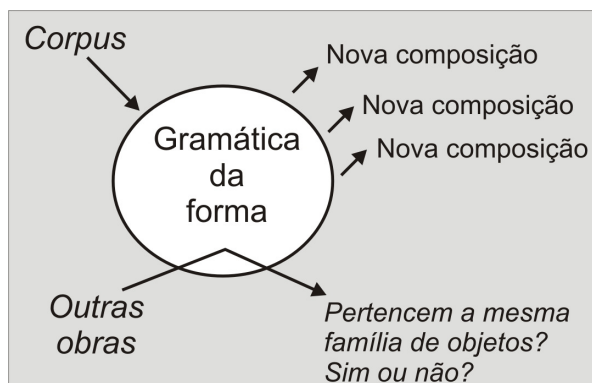
Fonte da figura: Tradução de STINY, 1980, p. 417.

A aplicação de uma gramática da forma de acordo com os passos especificados acima não é determinística, já que múltiplas escolhas podem ser feitas em cada etapa. As possibilidades individuais em determinada etapa podem levar a múltiplas possibilidades em um estágio subsequente. Por exemplo, um único vocabulário pode dar origem a uma variedade de relações espaciais, e uma única relação espacial pode fornecer a base para uma variedade de regras formais. (STINY, 1980)

A multiplicidade de possibilidades, de etapa a etapa, durante a derivação, permite uma melhoria cada vez maior nas distinções espaciais a serem feitas.

Segundo Mitchell (1990), uma gramática codifica, de modo conciso, uma definição de tipo. Neste estudo, a gramática da forma desenvolvida a partir do *corpus* de obras estudadas será utilizada para a identificação de projetos pertencentes a um mesmo grupo, e também para a geração de novos projetos semelhantes a eles (Esquema 3.1).

ESQUEMA 3.1: Gramática da forma utilizada



3.2 Procedimentos metodológicos da pesquisa

Uma vez compreendido o método de análise que será utilizado nesta pesquisa, são apresentados a seguir os procedimentos metodológicos que foram empregados para a obtenção dos resultados desejados, separados por etapas.

A pesquisa foi desenvolvida em 6 etapas:

1) Seleção do *corpus*;

Procurou-se escolher um conjunto de edifícios projetados por diferentes arquitetos relevantes da arquitetura brasileira. Após a seleção dos edifícios a serem analisados, foi feito um levantamento de suas plantas, cortes, fachadas, publicados em livros e revistas de arquitetura. Foram consideradas três diferentes alternativas de *corpus* até que se chegasse ao conjunto definitivo.

2) Desenvolvimento da gramática;

Esta etapa teve início com a modelagem do processo de projeto dos edifícios escolhidos. Esse modelo permitiu que se desenvolvessem conjuntos de regras para cada etapa do processo.

3) Teste da gramática;

Ao longo do desenvolvimento das regras a gramática foi sendo testada sistematicamente. No momento em que as regras puderam gerar alguns dos edifícios do *corpus*, elas foram apresentadas a alguns alunos de pós-graduação da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, da Unicamp, com o objetivo de testá-las.

4) Verificação da gramática da forma;

Esta etapa consistiu na aplicação das regras para a geração dos edifícios selecionados.

5) Análise de outras obras a partir da gramática criada;

Procurou-se verificar se as regras seriam capazes de descrever outras obras posteriores semelhantes.

6) Geração de novos projetos.

Nesta etapa as regras foram aplicadas de maneira a gerar novos exemplares da linguagem.

Todas as etapas acima são descritas com detalhes no próximo capítulo.

4. Desenvolvimento da gramática

4.1 Seleção do corpus

Esta etapa consistiu na seleção das obras para o *corpus*. Após a avaliação de diferentes alternativas de *corpi* de análise, foram selecionadas apenas as obras apresentadas na Tabela 4.1. Com o objetivo de restringir o número de regras da gramática, optou-se por analisar obras de apenas três arquitetos diferentes, compreendidas na 1ª fase do movimento moderno brasileiro (anos 40 e 50), e todas com volumes gerados a partir da extrusão da seção, através do movimento de translação (Figura 4.1). Contudo, dentre as obras selecionadas, há uma grande variedade de funções (escola, museu, fábrica, residência, laboratório) e de maneiras de uso de plano inclinado (plano inclinado, empena e exoesqueleto).

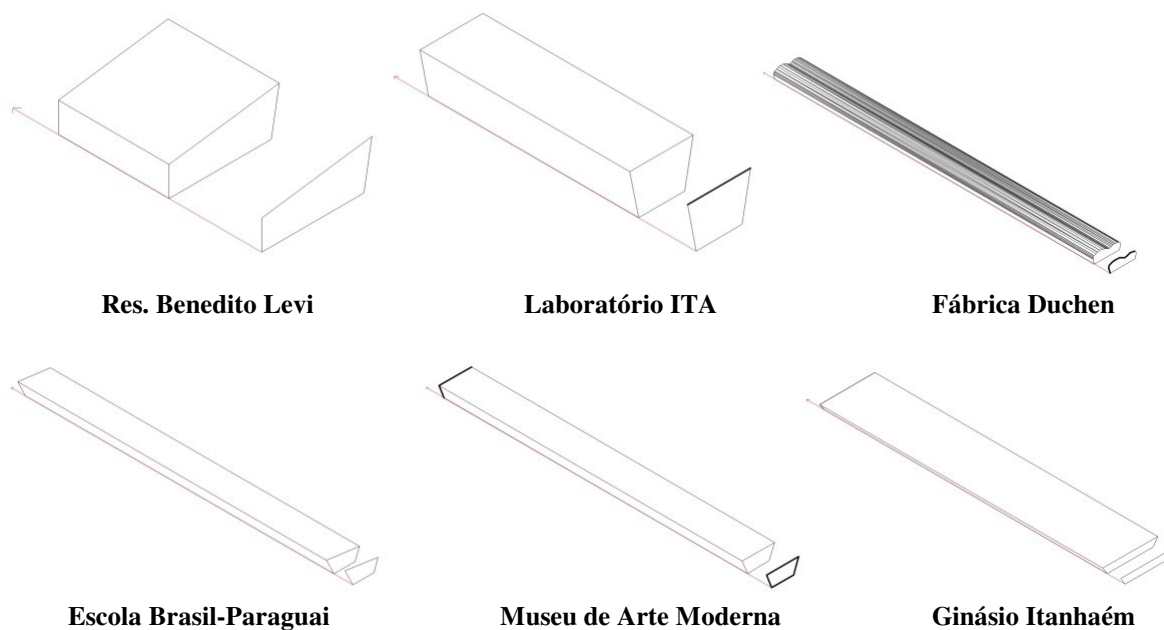


FIGURA 4.1: Seções dos edifícios do *corpus* de análise e seus volumes gerados pela extrusão através do movimento de translação

Antes que se chegasse a essa definição do *corpus* e à sua gramática, foram realizadas duas tentativas preliminares de definição de regras de composição para outros conjuntos de obras, que foram testadas e refinadas, até que se chegasse a uma que permitisse gerar todas as obras do *corpus*. Esses dois *corpi* selecionados preliminarmente, junto com as regras desenvolvidas para eles, são apresentados no Apêndice B. Apesar de não conclusivas, foram importantes para que se chegasse a um conjunto de regras coerente para o *corpus* de análise escolhido, cujas regras são apresentadas a seguir.

TABELA 4.1 – *Corpus* de Análise

EDIFÍCIOS DE ANÁLISE	
 Residência Benedito Levi, 1946 – Vilanova Artigas.	 Laboratório de Estruturas, 1947 – Oscar Niemeyer.
 Fábrica Duchen, 1950-51 – Oscar Niemeyer	 Escola Brasil-Paraguai, 1952 – Affonso E. Reidy.
 Museu de Arte Moderna, 1953 – Affonso E. Reidy.	 Ginásio Itanhaém, 1959 – Vilanova Artigas.

4.2 Desenvolvimento da gramática

A etapa seguinte consistiu-se no desenvolvimento da gramática a partir da análise das obras do *corpus*. Iniciou-se pelo estudo das seções dos edifícios, observando-se que são sempre formadas por trapezóides, não apenas variações paramétricas umas das outras, como mostra a Figura 4.2. Uma diferença observada, em relação às formas trapezoidais, é que algumas são simétricas, e outras, assimétricas.

A principal característica comum entre todos os edifícios do *corpus* é o fato de que seus volumes são sempre baseados na extrusão da seção trapezoidal. Ao contrário da sugestão de Le Corbusier de que “o plano é o gerador”, nestes tipos de edifícios, “a seção é o gerador”.

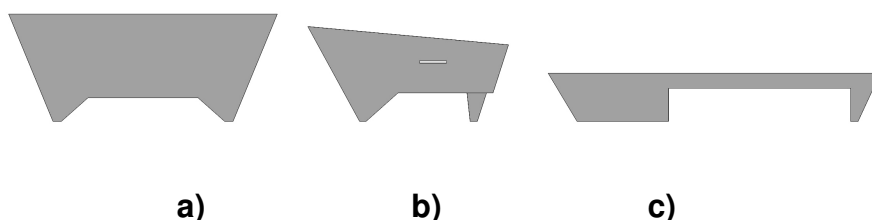


FIGURA 4.2: (a) Escola Brasil-Paraguai (assimétrica); (b) Museu de Arte Moderna – RJ (simétrica); (c) Ginásio Itanhaém (simétrica)

Celani (2003) desenvolveu um programa de computador (Figura 4.3) que permite a geração, paramétrica, de n edifícios com fachadas inclinadas, por meio da especificação de doze parâmetros (dimensões e ângulos de inclinação). Esse programa permite gerar seções com fachadas de inclinação positiva e negativa, como as da Figura 4.2, mas não aquelas de edifícios mais complexos, como, por exemplo, a fábrica Duchon ou daqueles cujo volume é gerado por meio do movimento de rotação.



FIGURA 4.3: Programa paramétrico elaborado por Celani (2003)

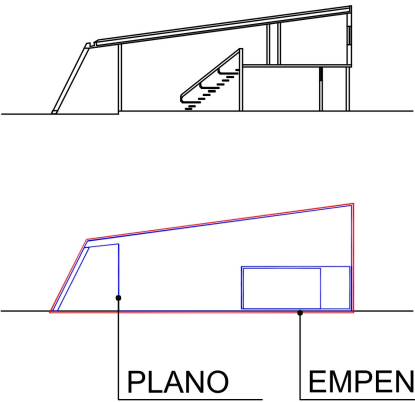
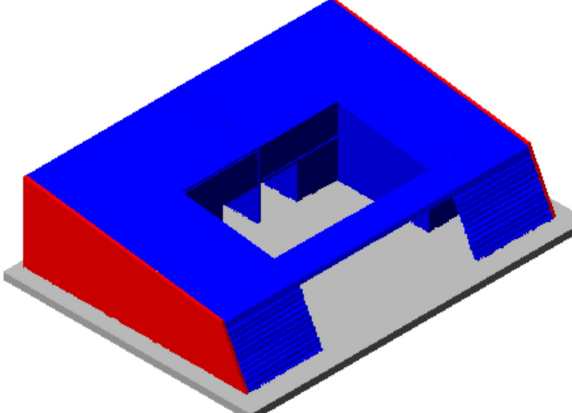
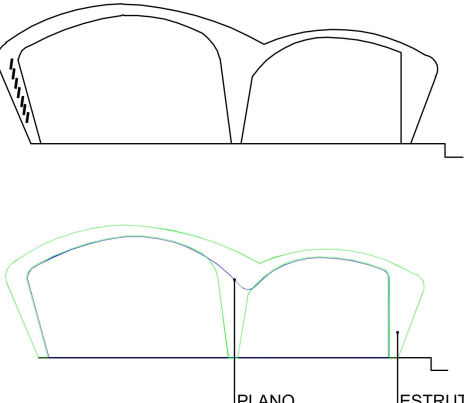
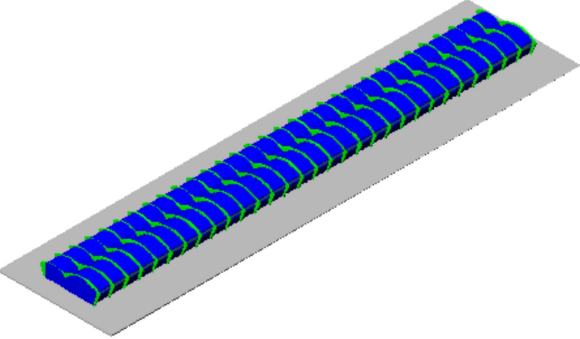
As regras de uma gramática da forma permitem a geração de uma maior variedade de formas que aquelas geradas por um modelo paramétrico. A relação do programa com o *corpus* de análise é que todos os edifícios gerados provêm da extrusão, através do movimento de translação, das seções 2D.

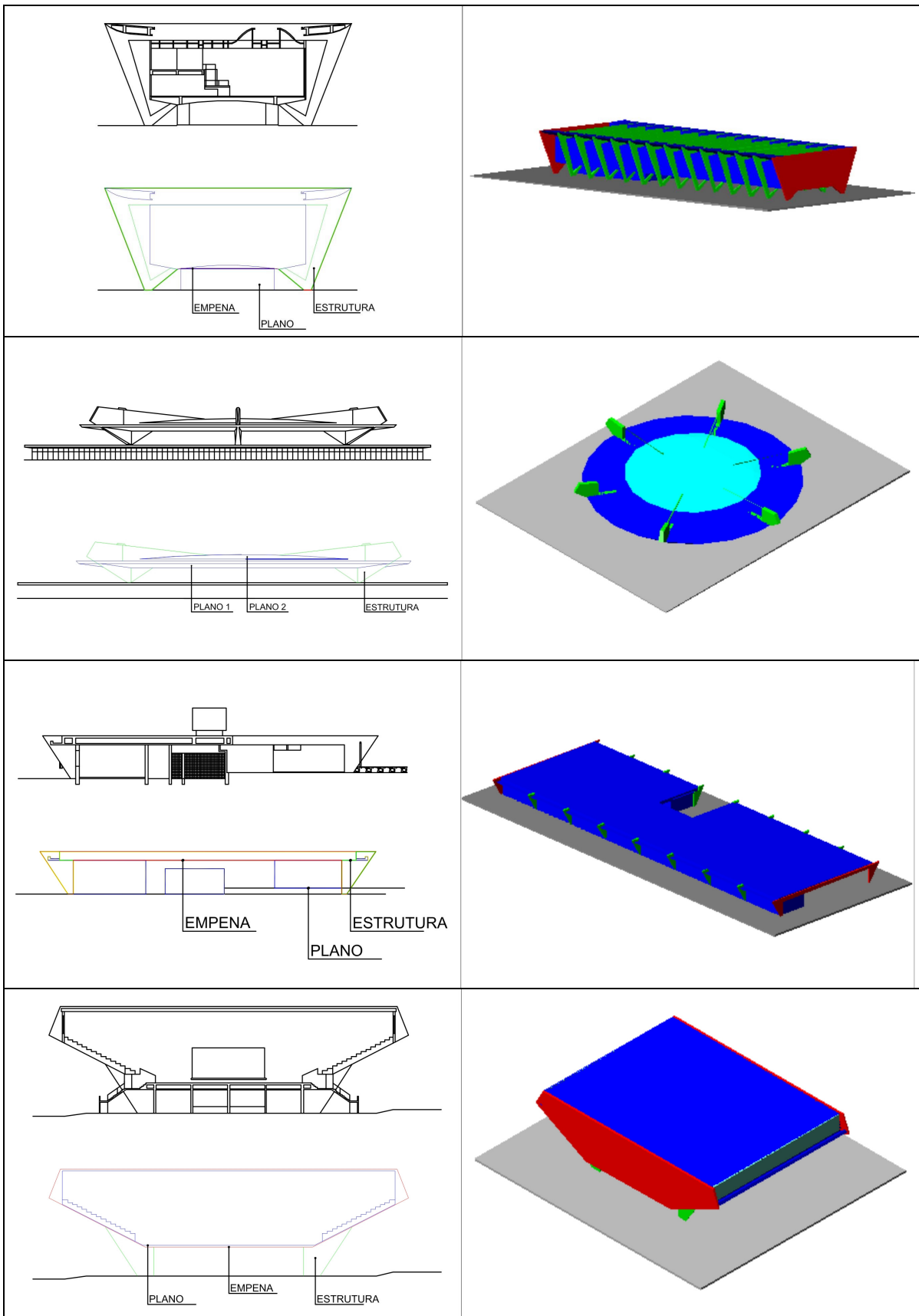
Após um levantamento das partes que integram a seção 2D de alguns edifícios, como mostradas na Tabela 4.2, surgiu uma forma máxima (FM) que é um trapézio que engloba todas as partes de uma seção, no caso a empena (cor vermelha), a estrutura (cor verde) e o plano (cor azul). Para o desenvolvimento da gramática esses termos foram definidos:

1. Forma máxima (FM);
2. Empenas (E) – opcional; quando presentes esses elementos são colocados nos dois lados externos do volume.
3. Elementos Estruturais (EE) – opcional; os elementos são pórticos colocados em toda a extensão do volume, de maneira regular, e apresentam lados inclinados. Eles podem ser combinados com corpos inclinados ou ortogonais. Às vezes, pode-se incluir elementos longitudinais que são usados para o controle de incidência solar. Quando não há empena, o elemento estrutural inclinado é obrigatório.
4. Corpo principal – obrigatório; ele pode ser:
 - a) Corpo Inclinado (CI) – neste caso, ele pode ou não vir combinado com um corpo ortogonal;

- b) Corpo Ortogonal (CO) – neste caso, ele é sempre combinado com a empena, com o elemento estrutural inclinado, ou com um corpo inclinado. Pode existir mais de um corpo ortogonal quando este é combinado com a empena ou com algum elemento estrutural inclinado.

TABELA 4.2 – *Corpus*, Terminologias e Cores

SEÇÃO / DEFINIÇÃO DAS CORES	3D
 PLANO EMPENA	
 PLANO ESTRUTURA	



Um gráfico estado-ação (state-action graph) foi criado com as possíveis combinações dos elementos que compõem a forma máxima de cada seção (empena, estrutura inclinada, corpo inclinado e corpo ortogonal), e um modelo de processo de projeto.

O gráfico de combinações inicia-se com 4 quadrados, que são as 4 formas de elementos que podem fazer parte de uma seção de um edifício. Há doze diferentes possibilidades de combinações para as partes citadas acima, como é mostrada na Figura 4.4. Essa Figura pode ser interpretada como uma “árvore genealógica” dos edifícios do *corpus* de análise, pois mostra o nível de “parentesco” entre eles.

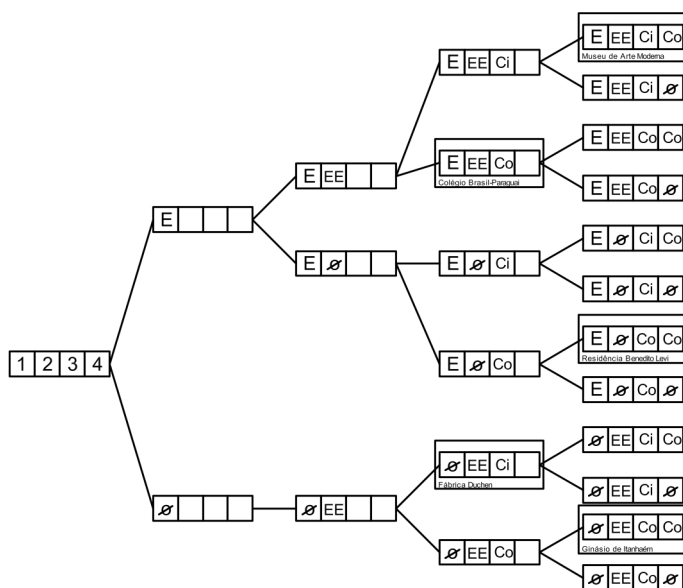


FIGURA 4.4: Gráfico com as possíveis combinações – E (Empena); EE (Elemento Estrutural); CI (Corpo Inclinado); CO (Corpo Ortogonal)

Além do gráfico de possíveis combinações dos elementos, sentiu-se a necessidade de expressar o processo de projeto por meio de um modelo em forma de fluxograma. Esse modelo ajudou no desenvolvimento de regras específicas para cada etapa do processo de projeto.

Para a definição do modelo do processo de projeto, foram observadas quais tarefas são obrigatórias e quais não. As tarefas são as listadas abaixo:

1)Definição da seção:

- a) Definir a forma máxima da seção (obrigatória) – este é o passo mais importante, porque todos os outros elementos da seção serão definidos a partir da forma máxima;
- b) Definir a seção da empena (opcional);
- c) Definir a seção do elemento estrutural inclinado (opcional) – neste passo pode haver a inclusão de brise-soleil ligado a estrutura;
- d) Definir a seção do corpo inclinado (obrigatório/opcional) – neste caso pode haver a inclusão de brise-soleil longitudinalmente ao corpo; O corpo inclinado só será obrigatório quando não existir uma empena ou um elemento estrutural inclinado.
- e) Definir a seção do corpo ortogonal (opcional)

2)Extrusão das seções geradas pelos passos 1.b, 1.c, 1.d e 1.e, para a geração dos volumes 3D;

3)Agrupar todas as partes 3D.

Cada tipo de edifício possui combinações diferentes para esses passos, e nem todos os passos estão presentes em todos os edifícios. A Figura 4.5, a seguir, mostra o fluxograma deste processo de projeto, que inclui pontos de decisão que permitem seguir por caminhos diferentes para que se obtenham resultados distintos.

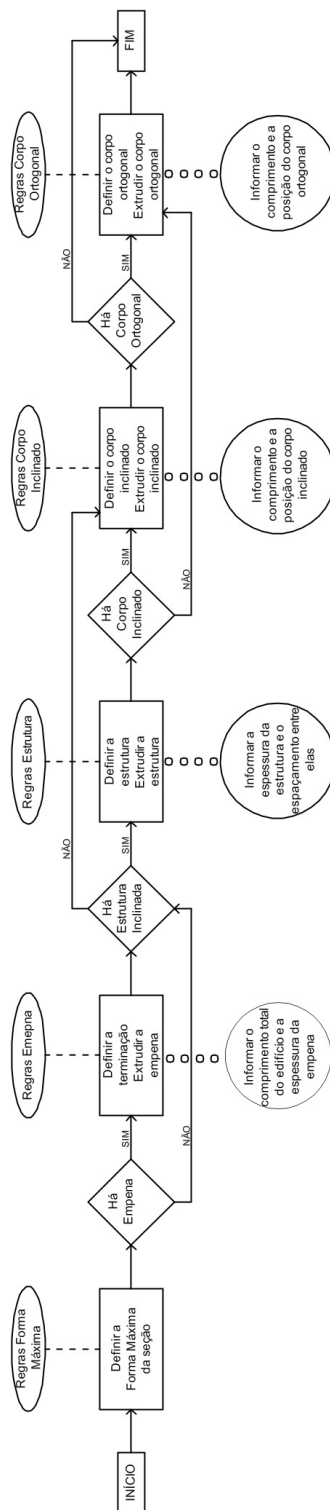
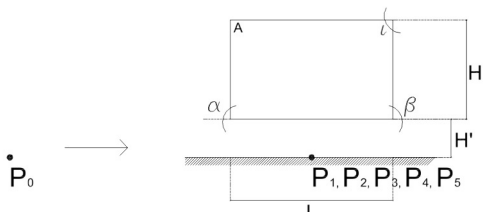
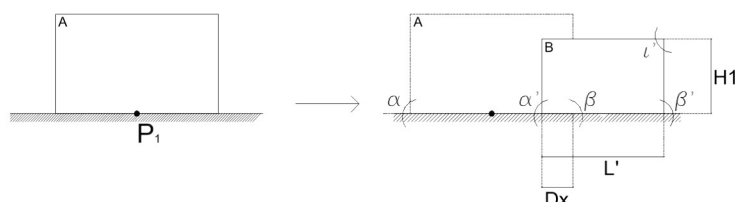


FIGURA 4.5 – Modelo do processo de projeto

Para cada etapa descrita no modelo de processo, há um conjunto de regras, mostradas nas Tabelas 4.3, 4.4, 4.5, 4.6 e 4.7

TABELA 4.3 – Etapa I – Regras para a Forma Máxima (FM)

I – REGRAS	PARÂMETROS
<u>Simbologia:</u> α: ângulo externo esquerdo ao quadrilátero β: ângulo externo direito ao quadrilátero H = altura do quadrilátero H' = altura que o quadrilátero deve ser inserido do chão H1 = altura do 2º quadrilátero a ser inserido L = tamanho da base do quadrilátero L' = tamanho da base do quadrilátero ι = ângulo de inclinação do teto do quadrilátero ι' = ângulo de inclinação do teto do 2º quadrilátero a ser inserido	
I) Regra 1: inserção do quadrilátero 	$55^{\circ} \leq \alpha \leq 90^{\circ}$ $55^{\circ} \leq \beta \leq 80^{\circ}$ H = nº pavimento, onde nº pavimento = {1, 2, 3, 4} H' = {0, 1} $10,00 \leq L \leq 30,00$ metros $0^{\circ} \leq \iota \leq 8^{\circ}$
I) Regra 2: inserção de outro quadrilátero 	Aplica-se I-2 $\rightarrow H' = 0$ $\alpha' = \{\alpha, 90^{\circ}\}$ $\beta' = \beta$ $H1 < H$ $L' < L$ $\iota' = \iota$ $0 \leq Dx \leq 1$
I) Regra 3: arredondamento do canto do quadrilátero 	
I) Regra 4: apaga label P1 	

I) Regra 5: apaga label P2

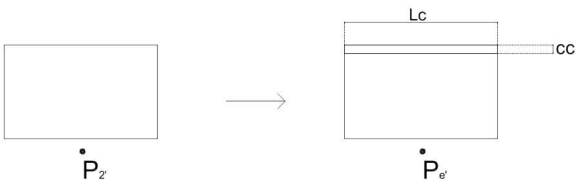


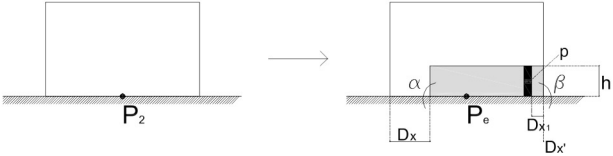
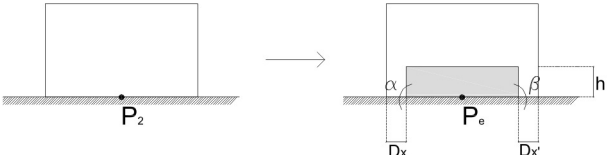
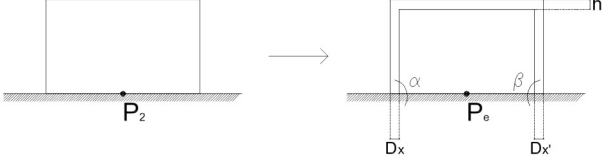
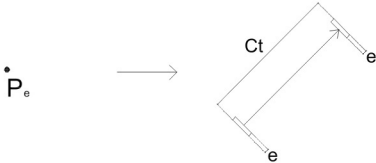
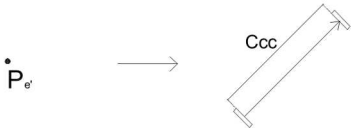
A regra I-1 insere um quadrilátero, podendo utilizar qualquer parâmetro dado ao lado direito da Tabela 4.2. A altura H' é a altura que faz com que o quadrilátero seja inserido ou diretamente no eixo x ou a uma altura de 1 pavimento deste, e pode ser expressa por: $H' = \{0, 1\}$. Caso H' for igual a 0, pode aplicar a regra I-2, caso contrário, não. A regra I-2 insere um quadrilátero B em A, desde que B seja menor que A. A regra I-3 arredonda os cantos superiores do quadrilátero, enquanto as I-4 e I-5 são regras que apagam as labels (marcadores) P1 e P2, respectivamente.

Na regra I-1, há, do lado esquerdo da regra, a label P0, que quando ela é aplicada, a label, do lado direito da regra, é substituída pelas P1, P2, P3, P4 e P5. Neste caso, deve-se aplicar a regra I-4, para prosseguir com a etapa II, ou a I-5 para seguir para a etapa III. Já no caso da regra I-2, ao aplicarmos-la, a label P1 (que existia ao lado esquerdo da regra) é apagada simultaneamente, partindo ou para a segunda etapa, ou aplicando a regra I-5 para prosseguir para a etapa III.

Nas formas máximas não ocorre a extrusão. Elas servem, apenas, como referencia para definir os outros elementos da seção.

TABELA 4.4 – Etapa II – Regras para Empena (E)

II – REGRAS	PARÂMETROS
<u>Simbologia:</u> Para as regras 2: cc = altura da cobertura Para as regras 3 e 4: α: ângulo externo esquerdo ao quadrilátero β: ângulo externo direito ao quadrilátero h = altura do quadrilátero Dx = distancia esquerda na base entre quadrilátero a ser inserido e o trapézio gerado na etapa I Dx' = distancia direita na base entre quadrilátero a ser inserido e o trapézio gerado na etapa I Dx1 = distancia na base do pilar a ser inserido em relação ao trapézio gerado na etapa I Para a regra 5: α: ângulo interno esquerdo ao quadrilátero β: ângulo interno direito ao quadrilátero h = tamanho do recuo a ser aplicada na linha superior do contorno h' = tamanho do recuo a ser aplicada na linha superior do contorno, em caso de um 2º quadrilátero. Para as regras 6 e 7: e = espessura da empena Ct = comprimento total do edifício Ccc = comprimento da cobertura	
II) Regra 1: quando a forma da empena é a mesma da forma máxima 	
II) Regra 2: esta regra só é aplicada quando a empena é igual a forma máxima. Geração da cobertura 	cc = 35% do tamanho de LC

II) Regra 3: subtração de quadrilátero, com inserção de pilar (p) 	$35^{\circ} \leq \alpha < 90^{\circ}$ $\beta = 0^{\circ}$ $h = 1 \text{ pavimento}$ $0,40 \leq Dx \leq 1,25 \text{ metros}$ $Dx' = 0$ $Dx1 \neq 0$ $p = \{\text{pilotis, trapezoidal}\}$
II) Regra 4: subtração de quadrilátero 	$35^{\circ} \leq \alpha < 90^{\circ}$ $35^{\circ} \leq \beta < 90^{\circ}$ $\alpha = \beta$ $h = 1 \text{ pavimento}$ $0,40 \leq Dx \leq 1,25 \text{ metros}$ $Dx' = Dx$
II) Regra 5: contorno forma máxima + offset 	$90^{\circ} \leq \alpha \leq 105^{\circ}$ $\beta = \alpha$ $0,85 < h \leq 1,15 \text{ metros}$ $h' < h$ $0,40 \leq Dx \leq 1,25 \text{ metros}$ $Dx' = Dx$
II) Regra 6: extrusão da empena 	$0,30 \leq e \leq 0,50$ $12,00 \leq Ct \leq 136,00$
II) Regra 7: extrusão da cobertura 	Ccc = distancia interna entre as empenas.
II) Regra 8: apaga labels P3 2 P4 para prosseguir na etapa V 	

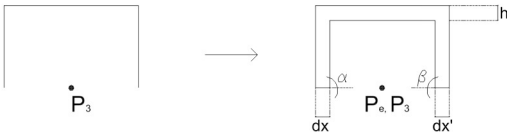
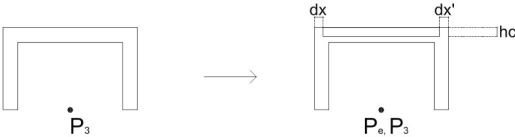
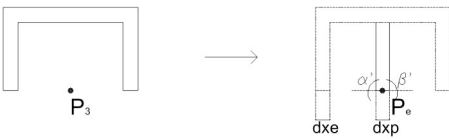
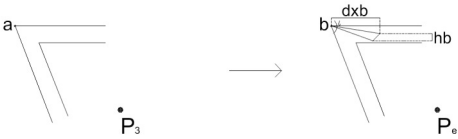
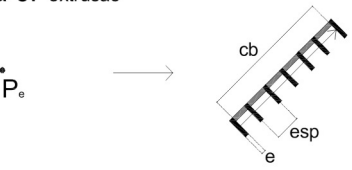
Nem todos os edifícios possuem empenas em seus lados externos. Em alguns casos, a forma da empena é igual à forma máxima (regra II-1). Os edifícios em que a

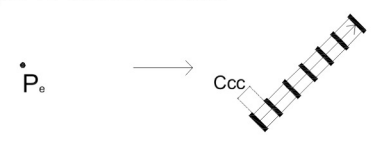
forma da empena é a mesma da forma máxima geralmente possuem uma cobertura, sendo assim, aplica-se a regra II-2, que faz com que se crie um recuo da linha horizontal superior no trapézio da empena para a geração da cobertura.

Em outros casos, a empena é um pouco menor que a forma máxima, como podemos ver nas regras II-3 e II-4, onde há a subtração de um quadrilátero. Caso a distancia Dx' for igual a 0, deve ser inserido pilares, que podem ser tanto redondos quanto trapezoidais. A II-5 é uma regra que cria uma empena diferente das demais, pois gera um tipo de estrutura, através do offset (recuo) do contorno da forma máxima. Nas regras II-6 e II-7 ocorrem a extrusão das empenas e das coberturas, se houver, sempre indicando suas espessuras (e), comprimento total do volume (Ct) e o comprimento da cobertura (Ccc), para garantir que sejam colocadas nos lugares corretos. A regra II-8 apaga as labels P3 e P4 para garantir que a próxima etapa a ser aplicada seja a V.

TABELA 4.5 – Etapa III – Regras para Elemento Estrutural (EE)

III – REGRAS	PARÂMETROS
<u>Simbologia:</u> Para a regra 1: α: ângulo interno esquerdo do contorno β: ângulo interno direito ao contorno h = tamanho do recuo a ser aplicada na linha superior do contorno dx = dimensão do recuo lateral esquerdo dx' = dimensão do recuo lateral direito. Para a regra 2: α: ângulo interno esquerdo do contorno β: ângulo interno direito ao contorno γ: ângulo interno direito ao contorno h = tamanho do recuo a ser aplicada na linha superior do contorno hh = tamanho do recuo a ser aplicada na linha superior do contorno, caso o quadrilátero seja assimétrico h' = altura da base até a linha que sairá de α dx = dimensão da base da mão francesa dx' = dimensão da base da mão francesa Para a regra 3: dx = distancia entre a lateral esquerda da estrutura a cobertura dx' = distancia entre a lateral direita da estrutura a cobertura hc = altura da cobertura Para a regra 4: dxp = dimensão da base do pilar dxe = dimensão do recuo lateral esquerdo/direito que foi escolhido pela regra 1 α' = ângulo esquerdo externo ao pilar β' = ângulo direito externo ao pilar Para a regra 5: dx_b = distancia total do brise-soleil a partir do ponto b hb = altura do brise-soleil a e b = ponto que indicam aonde o brise-soleil se inicia ι = inclinação do brise-soleil em relação a linha superior da estrutura. Para a regra 6 e 7: e = espessura da estrutura C_t = comprimento total do edifício cb = comprimento total do brise-soleil esp = vão, de eixo a eixo, entre cada estrutura. C_{cc} = comprimento da cobertura	

III) Regra 1: contorno e offset - estrutura sem braço inclinado 	$1,15 \leq h \leq 2,55$ metros $0,45 \leq dx \leq 0,95$ metros $dx' = dx$ $90^\circ \leq \alpha \leq 105^\circ$ $\beta = \alpha$
III) Regra 2: contorno e offset - estrutura com braço inclinado 	Se $\iota = 0 \rightarrow h$ e hh $1,25 \leq h \leq 2,85$ metros $hh = h$ $0,75 \leq dx \leq 1,05$ metros $dx' = dx$ $1,30 \leq h' \leq 1,65$ $26^\circ \leq \alpha \leq 34^\circ$ $73^\circ \leq \beta \leq 88^\circ$ Se $\iota \neq 0 \rightarrow h$ e hh $1,25 \leq h \leq 2,85$ metros $0,65 \leq hh \leq 1,25$ metros $0,75 \leq dx \leq 1,05$ metros $0,20 \leq d'x \leq 0,75$ metros $1,30 \leq h' \leq 1,65$ $26^\circ \leq \alpha \leq 34^\circ$ $73^\circ \leq \beta \leq 88^\circ$ $\gamma = 90^\circ$
III) Regra 3: cobertura 	$0 < dx = dx' \leq 2,00$ metros $hc = h$ (definido na regra 1)
III) Regra 4: inclusão de pilar 	$d_{xp} = d_{xe}$ (definido pela regra 1) Se pilar $\subset$ EE $\rightarrow \alpha' = 90^\circ$ e $\beta' = \alpha$ (definido na regra 1) Se pilar $\not\subset$ EE $\rightarrow \alpha' = \alpha$ (definido na regra da FM) e $\beta' = \beta$ (definido na FM)
III) Regra 5: brise 	$hb > h$ (definido na regra 2) $3,90 \leq d_{xb} \leq 9,55$ metros $b = a$ $4^\circ \leq \iota \leq 16^\circ$
III) Regra 6: extrusão 	$12,00 \leq Ct \leq 136,00$ (utilizar o mesmo C da II-5) $cb = Ct - e - e$ $5,00 \leq esp \leq 11,50$ metros

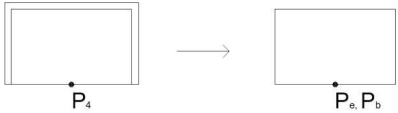
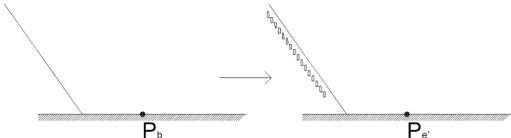
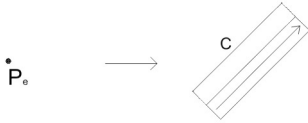
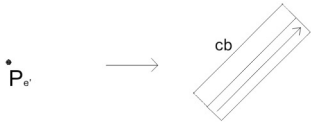
III) Regra 7: extrusão cobertura 	Ccc = vão entre as estruturas
III) Regra 8: apaga label P3 	
III) Regra 9: apaga label P4 	

As regras de estrutura só podem ser aplicadas em edifícios com mais que 40,00 metros de comprimento, pois no *corpus* de análise os elementos estruturais estão presentes apenas em edifícios com essa extensão. Em edifícios com pórticos, a forma do elemento estrutural pode ser definida de duas maneiras. A primeira é através da forma máxima, como é o caso da regra III- 1, que consiste no seu contorno e seu offset (recoo do contorno), definido através das distancias dx, que é a base do pilar. E a segunda maneira é através da forma da empena, no qual aplicamos a regra III-2, e geralmente possui uma mão francesa para sustentar o corpo a ser criado depois. Esta regra pode ser aplicada tanto em trapézios simétricos quanto assimétricos, e nesses casos, uma altura a mais (hh) é definida. A regra III-3 é para gerar edifícios que possuem cobertura entre os vãos das estruturas, como é o caso do Ginásio Itanhaém.

Na regra III-4 há a inserção de pilares, que podem estar contidos ou não no elemento estrutural criado somente pela regra III-1. A III-5 é uma regra que gera um brise-soleil, que pode ser totalmente fechado ou em faixas. A regra III-6 é a da extrusão da estrutura e do brise, e o valor de Ct é o mesmo definido pela regra II-6. O cb (comprimento do brise) é designado através do comprimento total (Ct), menos as duas espessuras das empenas já criadas (etapa II), se houver, e colocadas no eixo da extrusão. Além disso, nessa regra, devemos definir a espessura do elemento gerado e

o espaçamento entre eles, que é medido através do eixo da estrutura. Já a III-7 é uma regra de extrusão para a cobertura. É possível notar que a cobertura é extrudida em etapas, ou seja, entre os vãos da estrutura. A regra III-8 é aplicada para apagar a label P3, para não aplicarmos novamente as regras III-2, III-3 e III-4, e a III-9 apaga-se a label P4 para prosseguir com a etapa V.

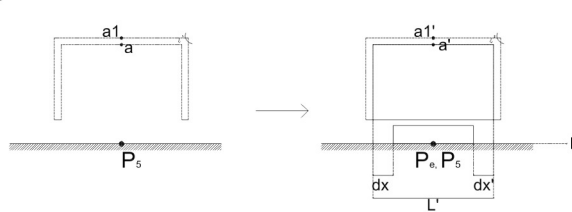
TABELA 4.6 – Etapa IV – Regras para Corpo Inclinado (CI)

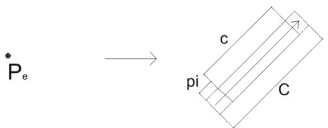
IV – REGRAS	PARÂMETROS
<u>Simbologia:</u> Ct = comprimento total do edifício Cci = comprimento total do corpo inclinado cb = comprimento total do brise-soleil	
IV) Regra 1: contorno interno da estrutura 	
IV) Regra 2: brise 	
IV) Regra 3: extrusão corpo 	$Cco = Ct$
IV) Regra 4: extrusão brise 	$cb = Cci$

Quando se tem um corpo inclinado, sua forma é gerada a partir da forma do elemento estrutural criado na etapa anterior, pela regra IV-1, definida pelo contorno interno do elemento estrutural. Caso o desenho do pórtico seja o gerado pela regra III-4, que insere o pilar, este deve ser desconsiderado, pois o corpo inclinado não deve manter a forma do pórtico com o pilar no meio.

A regra IV-2 cria brise-soleil em faixas em um dos lados inclinados do corpo gerado pela IV-1. A IV-3 é a regra da extrusão do corpo e seu comprimento (Cco) equivale ao comprimento total (Ct), assim como a regra IV-4, que é a extrusão do brise-soleil.

TABELA 4.7 – Etapa V – Regras para Corpo Ortogonal (CO)

V – REGRAS	PARÂMETROS
<u>Simbologia:</u> h = altura que o corpo ortogonal deve ser inserido dx = distancia esquerda, a partir da estrutura, que o corpo ortogonal deve ser inserido dx' = distancia direita, a partir da estrutura, que o corpo ortogonal deve ser inserido L' = distancia interna entre os pilares da estrutura a e a' = pontos que devem ser coincidentes quando se insere um quadrilátero, que faz com que a cobertura deste encoste nesses pontos. Este caso é para quadriláteros simétricos $a1$ e a'' = pontos que devem ser coincidentes quando se insere um quadrilátero, que faz com que a cobertura deste encoste nesses pontos. Este caso é para quadriláteros assimétricos ι = inclinação da estrutura Ct = comprimento total do edifício Cco = comprimento total do corpo ortogonal pi = ponto de início – distancia do início do corpo ortogonal em relação ao Ct.	
V) Regra 1: corpo ortogonal 	Se $h = 1$ pavimento $\rightarrow dx = 0$ e $dx' = dx$ se $\iota = 0^\circ \rightarrow a = a'$ e $a1 = a1' = \phi$ se $\iota \neq 0^\circ \rightarrow a1 = a1'$ e $a = a' = \phi$ Se $h = 0 \rightarrow 0 \leq dx < L$ e $0 \leq dx' < L$ $\iota = 0^\circ$ $a = a' = a1 = a1' = \phi$ Onde L' = vão interno da estrutura

V) Regra 2: extrusão 	$10,00 \leq C_{co} \leq C_t$ Se $pi = 0 \rightarrow C_t < 22,00$ metros Se $pi \neq 0 \rightarrow C_t > 22,00$ metros $1,00 \leq pi < 35,00$ (para $C_t > 90,00$ metros)
V) Regra 3: apaga label P5 	

O corpo ortogonal pode ser combinado com um corpo inclinado, com um elemento estrutural, ou com uma empena, e pode ser gerado dentro de um pórtico, sendo ajustado a este elemento, como mostra a regra V-1. Se a altura h for igual a 1 pavimento, necessariamente as dimensões dx e dx' do corpo ortogonal a ser inserido dentro do pórtico devem ser iguais a 0. Os pontos a e a' devem coincidir e os pontos $a1$ e $a1'$ devem ser nulos (para um pórtico simétrico). No caso de um pórtico assimétrico, o contrário. Para a altura h igual a 0, o corpo ortogonal é gerado diretamente no eixo x . As distâncias dx e dx' podem ter o mesmo valor, desde que esse valor seja diferente 0. Caso dx for igual a 0, dx' deve ser diferente de 0.

A regra V-2 é a regra da extrusão do corpo. Neste caso, pode-se notar a existência do ponto pi que é o ponto de início de um corpo ortogonal. Este ponto pode ser igual a 0, nos casos de um edifício de comprimento total (C_t) menor que 22,00 metros ou se C_t for maior que 22,00 metros, o pi pode ser diferente de 0, variando de 1,00 até 35,00 metros. A última regra (V-3) é considerada a regra de terminação, pois apaga o label P5 que é o último marcador existente das formas.

4.3 Teste da gramática

Durante o desenvolvimento da gramática, foram realizados diversos testes para verificar a validade das regras. Um desses testes foi desenvolvido com a colaboração dos alunos da disciplina IC069 - Sistemas Generativos de Projeto, do programa de pós-graduação da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo (Unicamp). Esse teste permitiu verificar algumas inconsistências na gramática, contribuindo para o seu aperfeiçoamento.

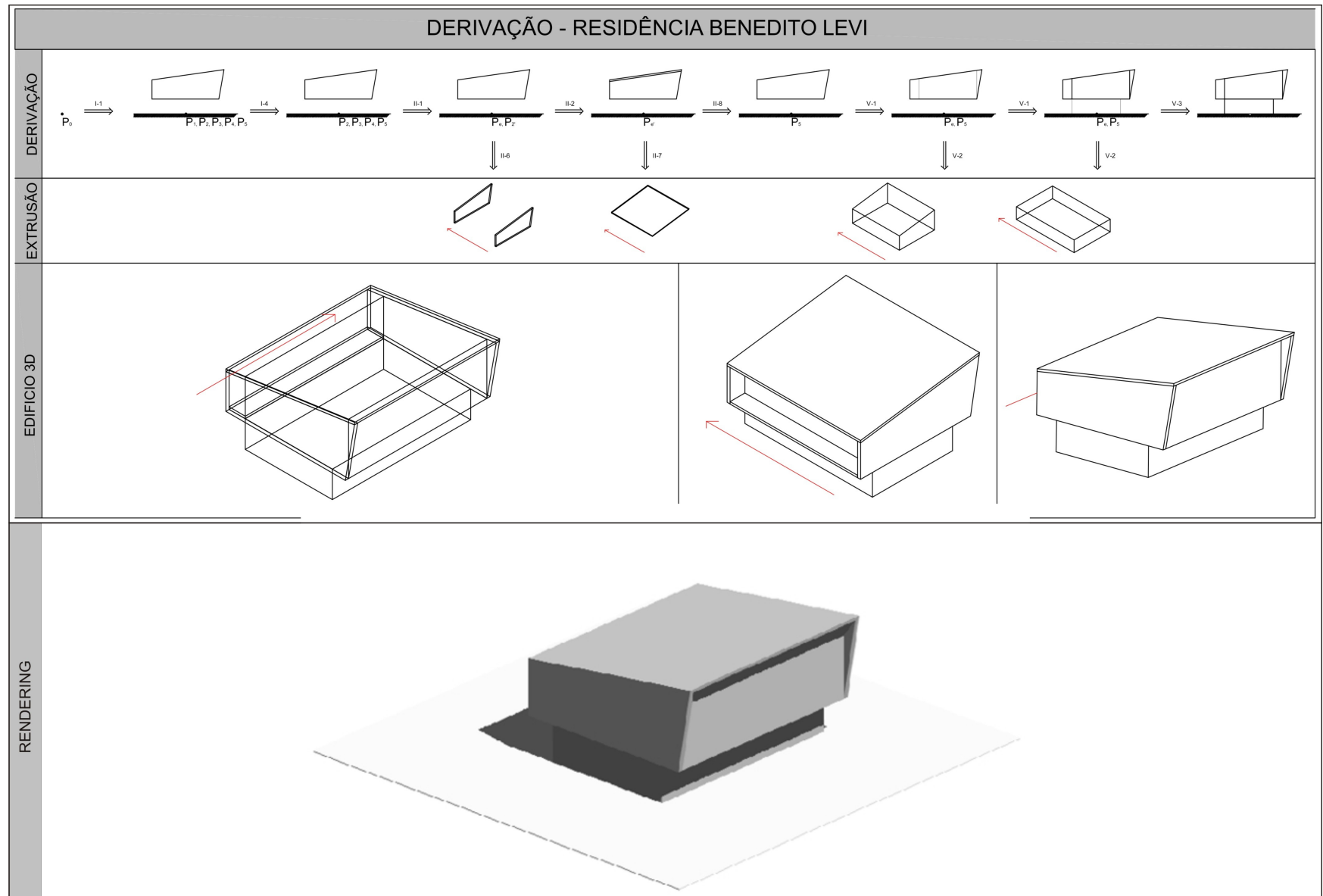
O modelo do processo de projeto e as regras que são mostrados no Apêndice B foram apresentados aos alunos para que pudessem gerar novos exemplos de edifícios com fachadas inclinadas. Os resultados obtidos por quatro desses alunos são apresentados no Apêndice C. O desenvolvimento final da gramática levou em conta as respostas às dúvidas apresentadas pelos alunos durante o processo de aplicação do método. Os parâmetros, que ainda não haviam sido inseridos nas regras, foram adicionados, como mostram as Tabelas 4.3 a 4.7. Esses parâmetros são baseados nas medidas reais dos edifícios do *corpus* e que são mostrados no Apêndice D.

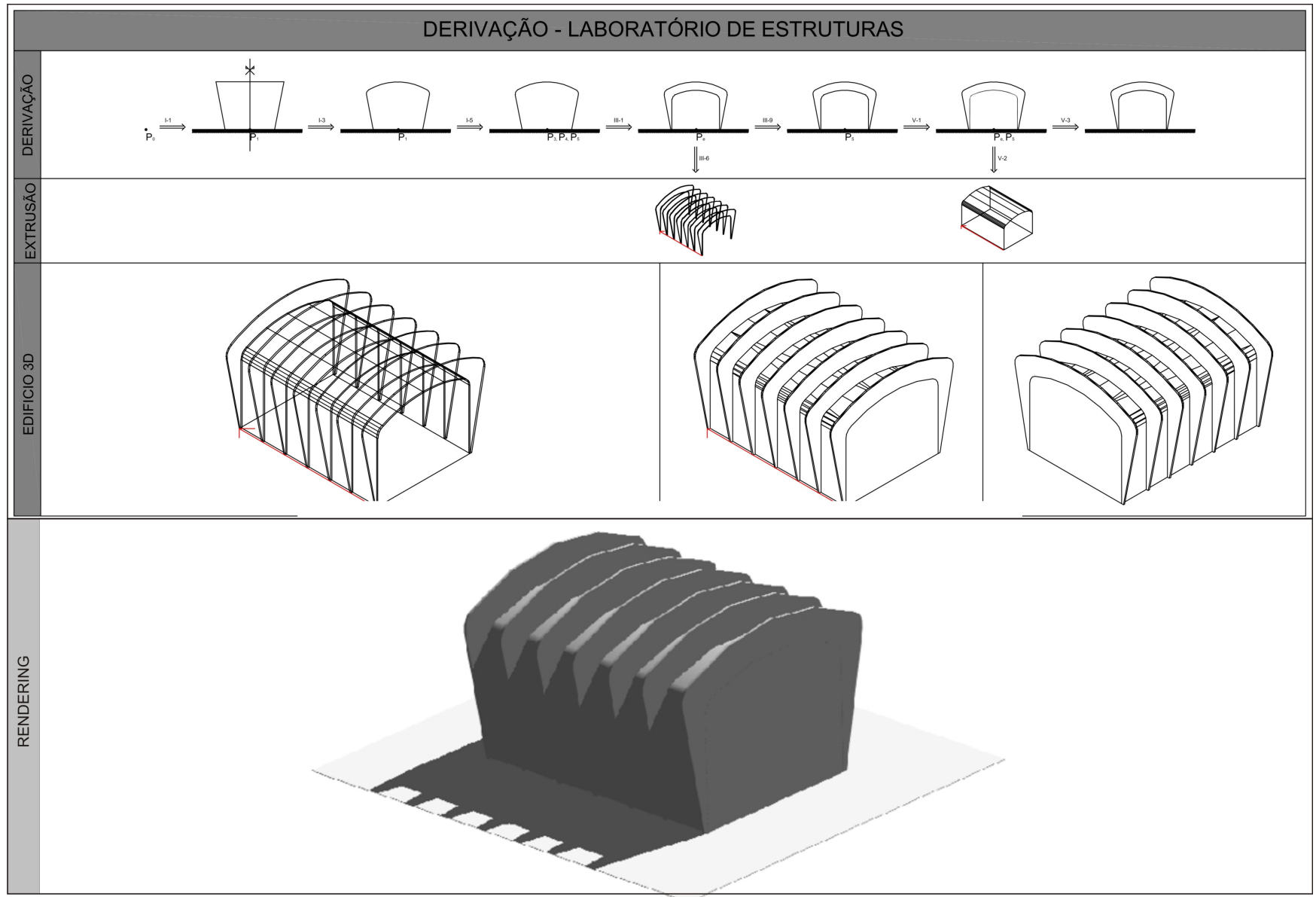
As formas das regras de composição também foram alteradas, por exemplo, para evitar que o projetista copiasse a forma trapezoidal presente nas regras anteriores. Os trapézios inseridos nas regras foram substituídos por quadriláteros, com especificação dos intervalos possíveis para os ângulos. O número de etapas continuou o mesmo e a inserção de marcadores foi corrigida.

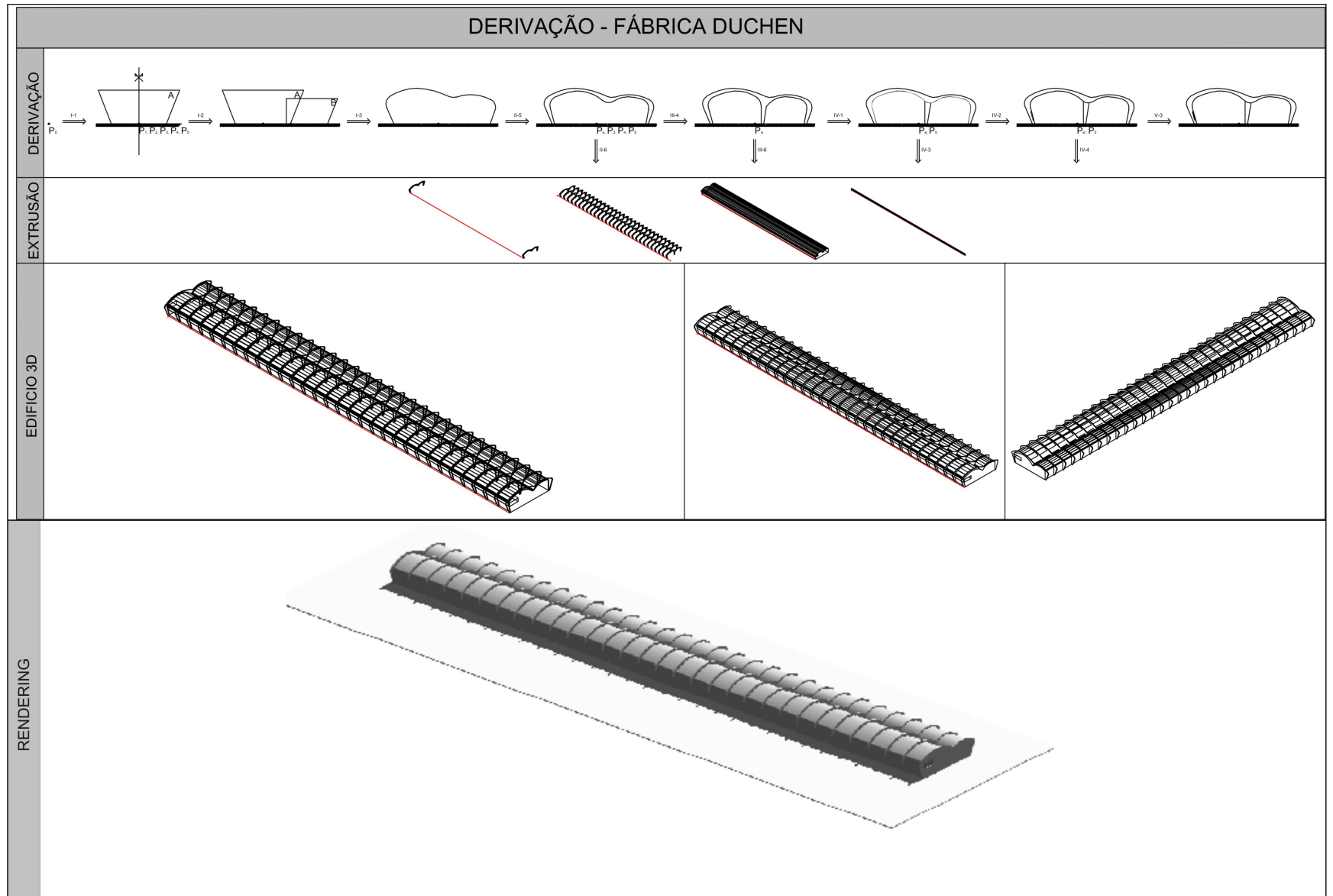
A extrusão foi realizada de maneira paralela, de acordo com a gramática paralela, que é a realização de tarefas executadas ao mesmo tempo.

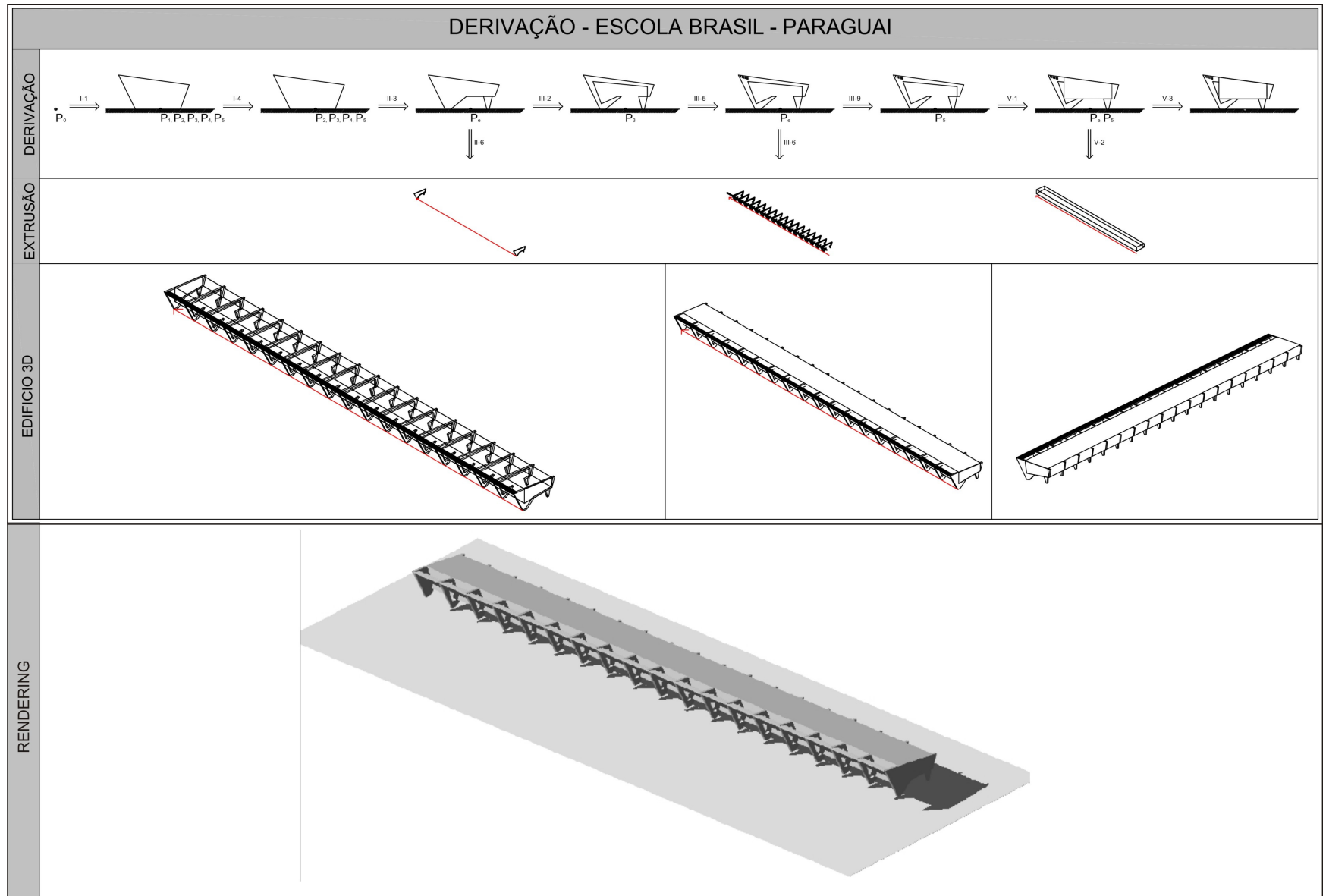
4.4 Verificação da gramática da forma

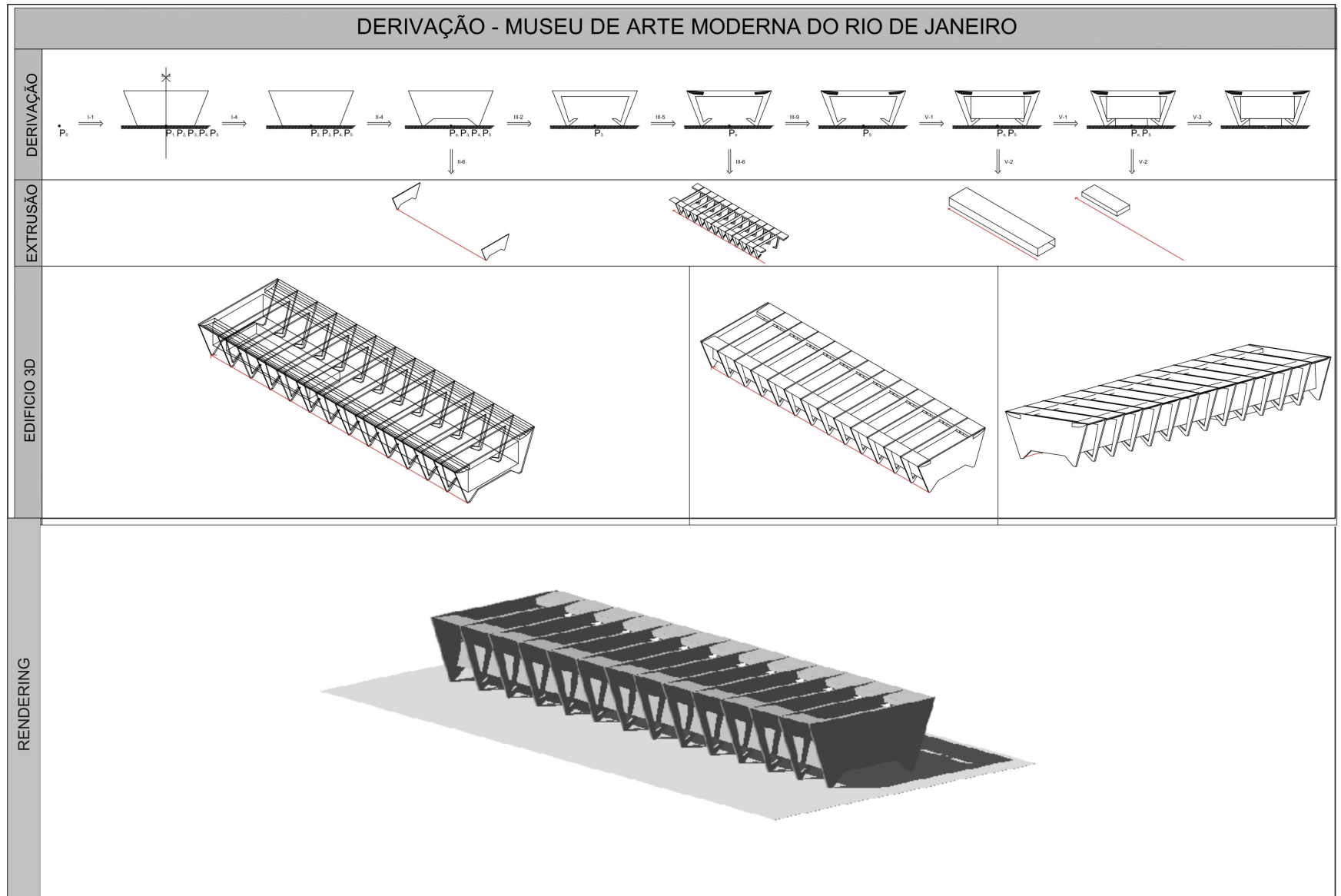
Esta etapa consiste na verificação da gramática. As regras foram aplicadas de maneira a gerar todas as obras do corpus que deu origem à gramática. Feito isso, fichas de derivação foram elaboradas, e são apresentadas a seguir.

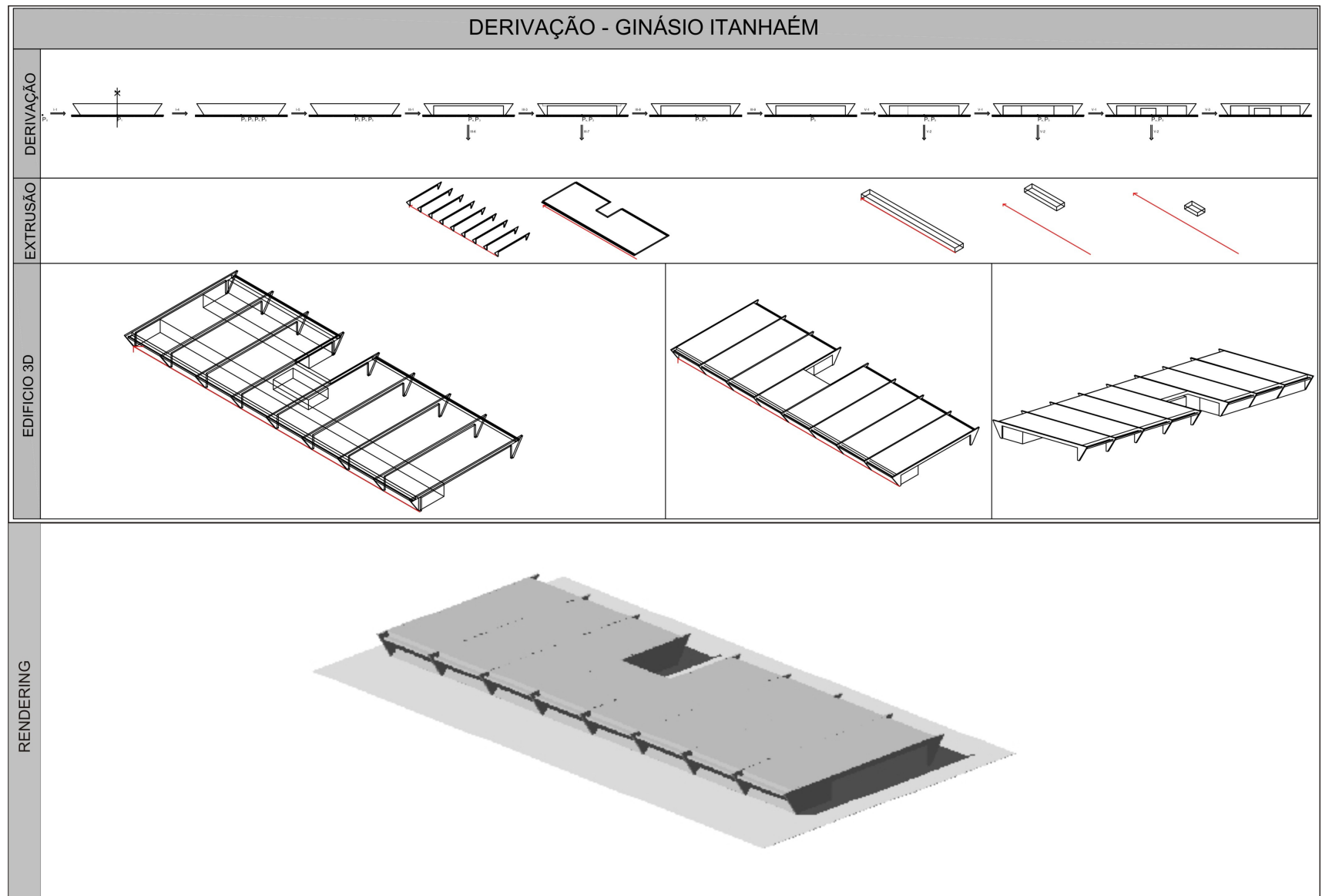












4.5 Análise de outras obras a partir da gramática criada

Esta etapa consiste na aplicação das regras da gramática para a geração de obras existentes, também com fachadas inclinada, porém posteriores às do *corpus* de análise. Os edifícios selecionados foram o Poupatempo Itaquera (Figura 4.6 a), 1998, de Paulo Mendes da Rocha e a Residência do Arquiteto (Figura 4.6 b), 1999, de Sérgio Parada.

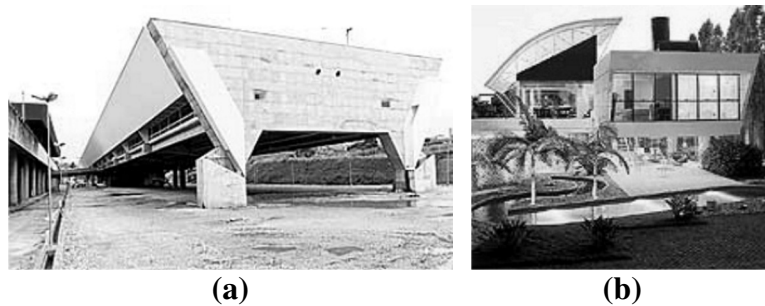


FIGURA 4.6: (a) Poupatempo Itaquera, 1998; (b) Residência do Arquiteto, 1999

Fontes das figuras: www.arcoweb.com.br; www.metalica.com.br

Para o Poupatempo Itaquera e a Residência do Arquiteto não há a necessidade de criar novas regras, pois as da gramática são suficientes para gerar esses dois edifícios. A única ressalva é que para a Residência do Arquiteto, a fachada inclinada ocorre na seção longitudinal da planta, portanto, os parâmetros da extrusão para gerar o volume serão menores aos parâmetros da gramática (Figura 4.7)

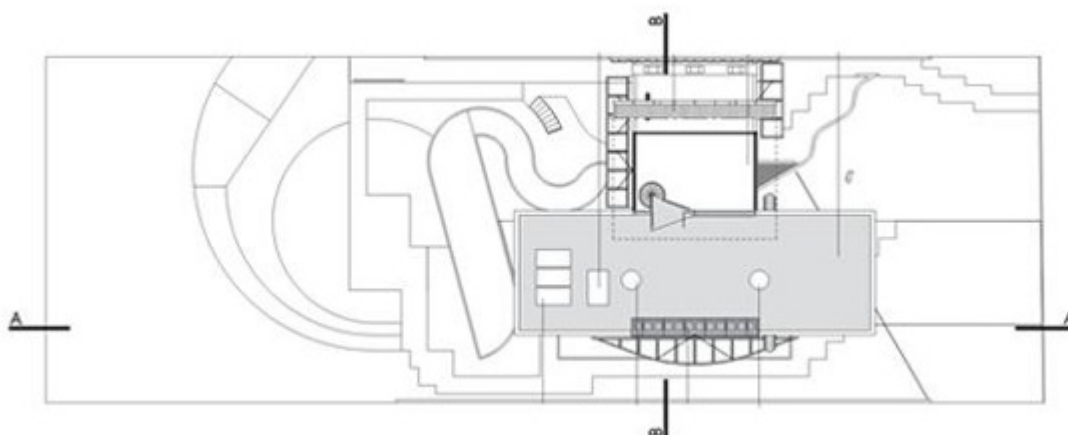
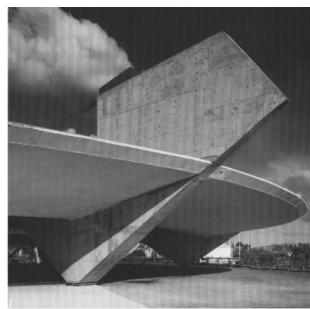


FIGURA 4.7: Corte AA – corte longitudinal da seção

Fonte da figura: www.sergioparada.com.br

Contudo, para a geração de outras obras, seria necessária a inserção de novas regras. Por exemplo, a fim de gerar os projetos do Ginásio de Esporte e o Centro de Convivência Cultura de Campinas, seria necessário criar uma regra que sobrepõe um trapézio sobre o outro, como já havia sido enunciado no Apêndice B.

Outros exemplos de obras que também não poderiam ser gerados pela gramática desenvolvida são aqueles cujo volume é um sólido de revolução, como o Clube Atlético Paulistano, 1958, de Paulo Mendes da Rocha (Figura 4.8 a) e o Museu de Arte Contemporânea de Niterói, 1998, de Oscar Niemeyer (Figura 4.8 b). Nesses dois casos, seria necessário incluir uma nova regra de geração de volume a partir da seção baseada na rotação, ao invés da translação.



(a)

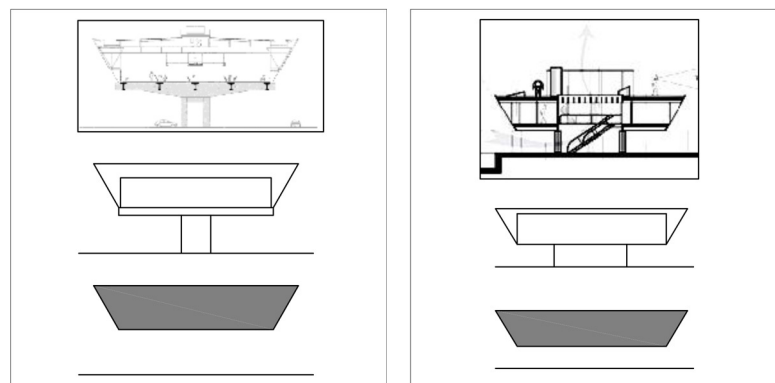


(b)

FIGURA 4.8: (a) Clube Atlético Paulistano; (b) Museu de Arte Contemporânea de Niterói

Fonte da figura: (a) ARTIGAS, 2000. capa; (b) www.arcoweb.com.br

A Figura 4.9 apresenta fotografias, seções e forma máxima dessas três obras. Pode-se observar que elas se assemelham às obras do *corpus* de análise.



(a)

(b)

FIGURA 4.9: (a) Poupatempo Itaquera; (b) Residência do Arquiteto

4.6 Geração de novos projetos

Esta etapa consistiu-se na geração de novos exemplares dentro da linguagem. Foram gerados quatro novos modelos utilizando a gramática da forma desenvolvida. As fichas de derivação e os modelos geométricos digitais dos projetos gerados são apresentados nas páginas seguintes, mostrando as composições resultantes para a para a comparação com os edifícios do *corpus*.

A Figura 4.10 mostra a geração do Modelo 03, com as possibilidades das regras que poderiam e foram usadas, de maneira semelhante a uma “árvore genealógica”.

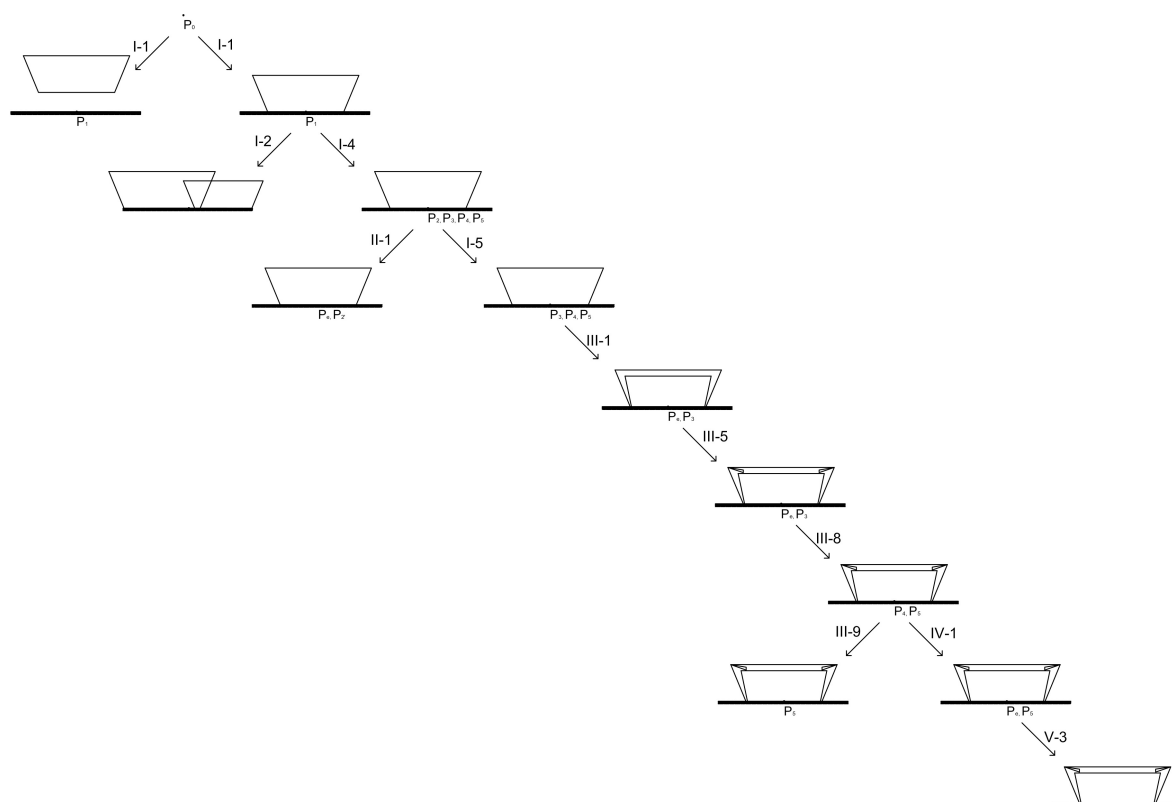
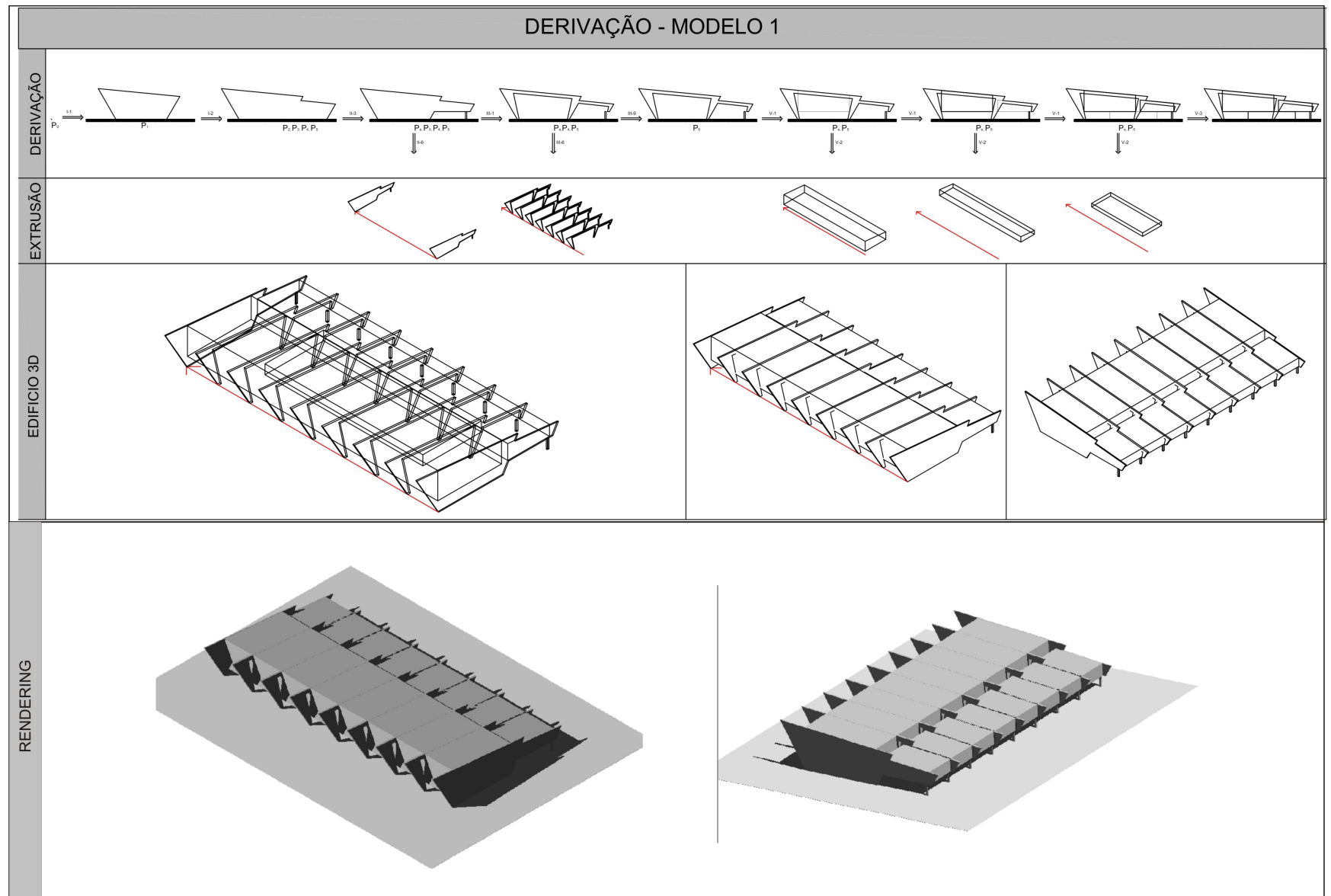
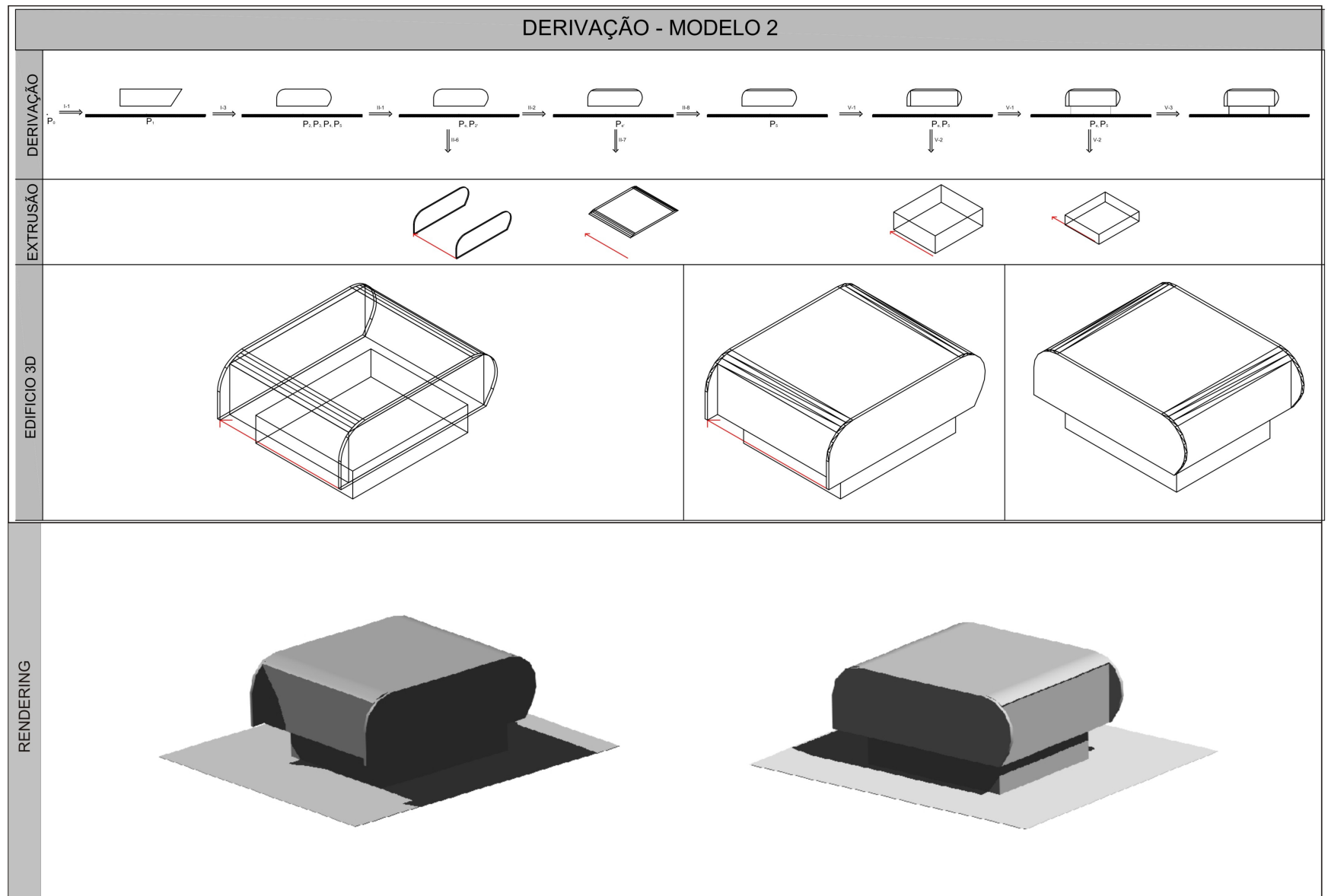
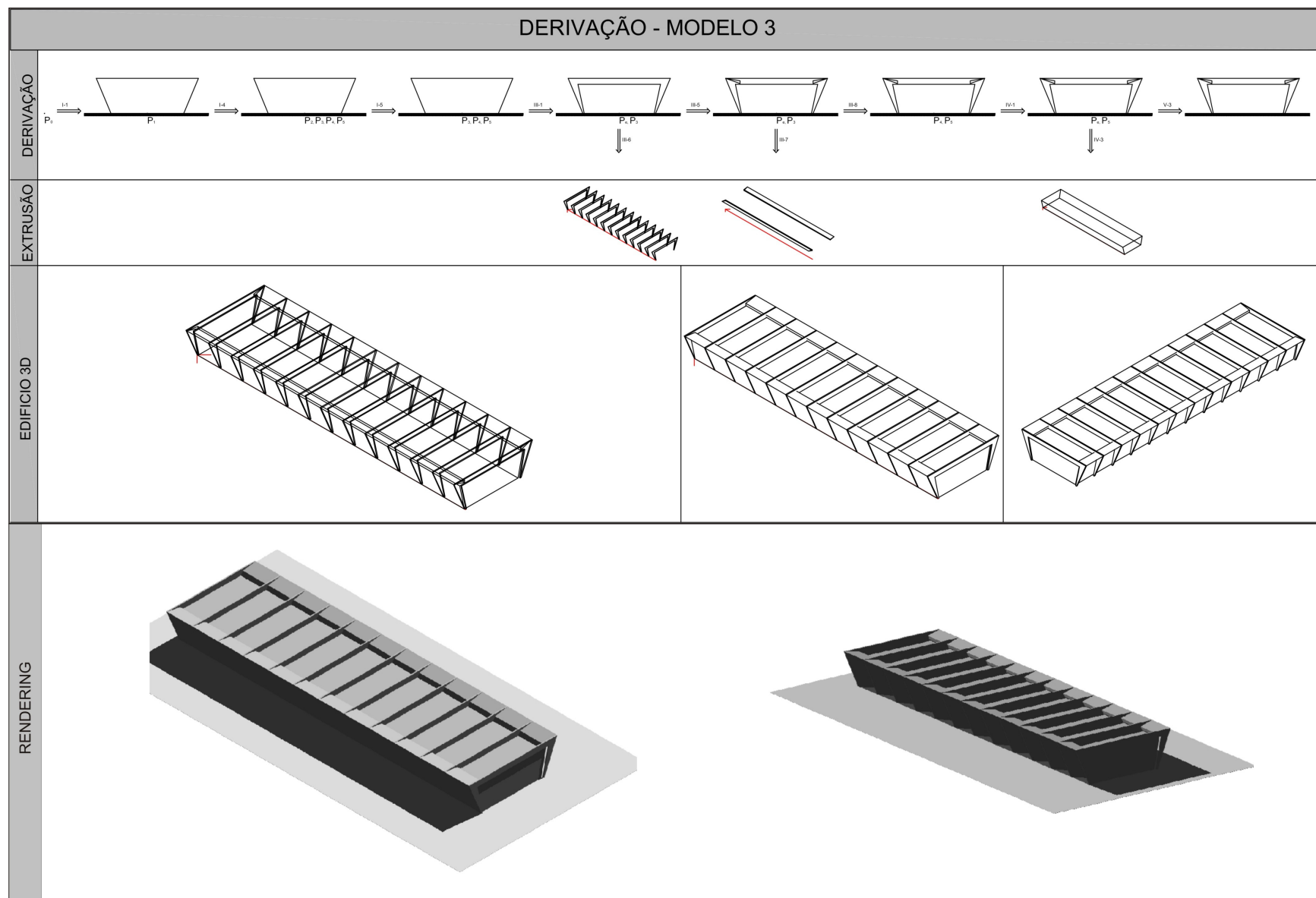
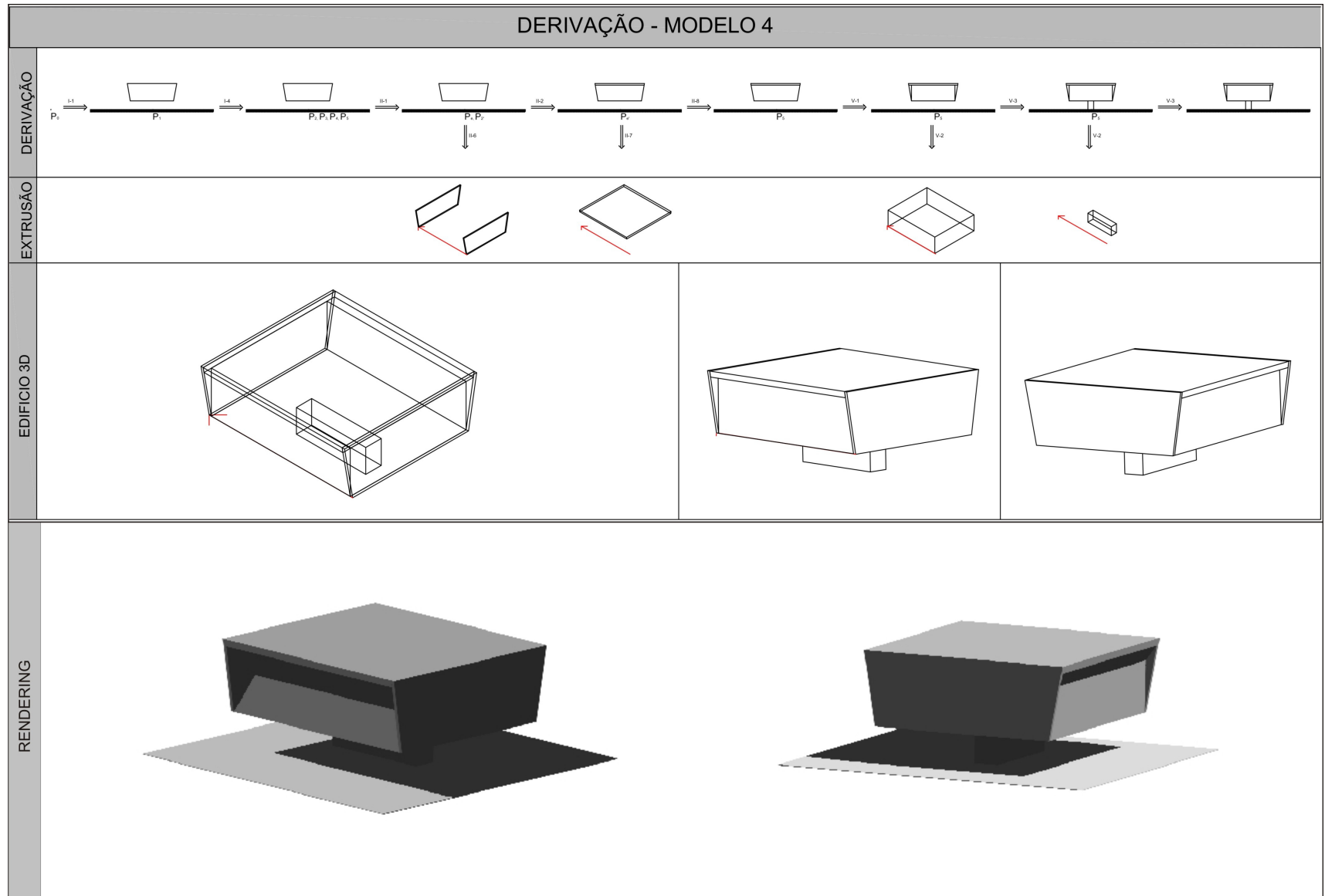


FIGURA 4.10: A “árvore genealógica” do Modelo 03









5. Resultados

A Tabela 4.8 apresenta as regras que foram aplicadas na derivação de cada obra do *corpus*. Nessa tabela é possível observar quais as etapas do processo de projeto que estão presentes em cada caso.

A partir da análise da Tabela 4.8 é possível notar que, quando um edifício possui empena e esta não está inserida diretamente no eixo x (mas acima dele), não encontramos elementos estruturais nem corpo inclinado em sua composição, como é o caso da Residência Benedito Levi. Além disso, uma regra de cobertura teve que ser criada para sua geração, já que essa obra possui como fachada inclinada do tipo “envelope”.

O Laboratório de Estruturas do ITA e a Fábrica Duchen se assemelham, não só pelo fato de serem do mesmo arquiteto, mas também por possuírem cantos arredondados. As únicas diferenças são em relação à empena, que é a simplificação da estrutura, por isso houve a necessidade de se criar uma regra que inserisse pilares para gerar a estrutura e é a única obra que possui um plano inclinado na sua fachada, e ao corpo inclinado, que só existem na Fábrica Duchen.

TABELA 4.8 – Regras Aplicadas x Edifícios do *Corpus*

	Residencia Benedito Levi	Laboratorio de Estruturas	Fábrica Duchen	Escola Brasil- Paraguai	Museu Arte Moderna RJ	Ginásio Itanhaém
ETAPA I						
I-1	x	x	x	x	x	x
I-2			x			
I-3		x	x			
I-4	x			x	x	x
I-5		x				x
ETAPA II						
II-1	x					
II-2	x					
II-3				x		
II-4					x	
II-5			x			
II-6	x		x	x	x	
II-7	x					
II-8	x					
ETAPA III						
III-1		x				x
III-2				x	x	
III-3						x
III-4			x			
III-5				x	x	
III-6		x	x	x	x	x
III-7						x
III-8						x
III-9		x		x	x	x
ETAPA IV						
IV-1			x			
IV-2			x			
IV-3			x			
IV-4			x			
IV-5						
ETAPA V						
V-1	x	x		x	x	x
V-2	x	x		x	x	x
V-3	x	x	x	x	x	x

A Escola Brasil-Paraguai e o Museu de Arte Moderna do Rio de Janeiro também se assemelham. É possível observar, ainda na Tabela 4.8, que a derivação desses dois edifícios utiliza as mesmas regras, com exceção apenas de uma. Para a geração da escola, por sua seção ser assimétrica, foi utilizada a regra II-3 e para o museu, que tem seção simétrica, foi aplicada a regra II-4. Para a geração do restante dos elementos da seção foram utilizadas as mesmas regras.

O Ginásio Itanhaém se assemelha ao Laboratório de Estruturas do ITA, mas os cantos não são arredondados. Para a geração da estrutura, foi aplicada a mesma regra para a estrutura do Laboratório. A única exceção consiste na criação do corpo ortogonal, já que o corpo do Laboratório é o contorno interno da estrutura, enquanto há três corpos ortogonais no Ginásio.

Já a Tabela 4.9 apresenta todas as regras que foram utilizadas para a geração dos novos modelos.

Para a geração do Modelo 01, procurou-se gerar um volume cuja seção remetesse a dois trapézios, como a Fábrica Duchén. Além disso, as regras aplicadas da etapa III (elementos estruturais) permitiram que a estrutura ficasse parecida com a Escola Brasil-Paraguai, pela sua assimetria.

O Modelo 02 é o que menos se assemelha às obras do *corpus*, pois dentre elas não há edifícios que não estão alocados diretamente no eixo x e que possuem os cantos arredondados. Além disso, o comprimento total de extrusão é pequeno, ao contrário do que acontece no Laboratório de Estruturas do ITA e na Fábrica Duchén, que são obras com o comprimento total de extrusão maior que 45,00 metros.

TABELA 4.9 – Regras Aplicadas x Novos Modelos

	Modelo 01	Modelo 02	Modelo 03	Modelo 04
ETAPA I				
I-1	x	x	x	x
I-2	x			
I-3		x		
I-4			x	x
I-5			x	
ETAPA II				
II-1		x		x
II-2		x		x
II-3	x			
II-4				
II-5				
II-6	x	x		x
II-7		x		x
II-8		x		x
ETAPA III				
III-1	x		x	
III-2				
III-3	x			
III-4				
III-5			x	
III-6			x	
III-7			x	
III-8			x	
III-9	x			
ETAPA IV				
IV-1			x	
IV-2				
IV-3			x	
IV-4				
ETAPA V				
V-1	x	x		x
V-2	x	x		x
V-3	x	x	x	x

Já o Modelo 03 é semelhante ao Museu de Arte Moderna do Rio de Janeiro, por sua estrutura, apesar de que foi gerado somente um único corpo, sendo que este é inclinado. O Modelo 04 também é muito parecido com a Residência Benedito Levi, mas a inclinação das empenas acontece nos dois lados do trapézio da seção, e na residência projetada por Artigas a ocorrência é em um lado só.

6. Conclusão e desdobramentos futuros

As derivações apresentadas das obras do *corpus* comprovaram que a gramática da forma desenvolvida foi bem sucedida e que esses edifícios pertencem a uma mesma família de objetos. Além disso, foi possível gerar novas composições pertencentes à mesma linguagem com essa gramática.

As regras da gramática também permitiram gerar alguns edifícios posteriores aos do *corpus*, comprovando que eles também pertencem à mesma linguagem.

A partir do desenvolvimento desta gramática é possível dizer que os edifícios com fachadas inclinadas podem ser identificados como uma categoria arquitetônica bem definida. Apesar de nem todos possuírem exatamente as mesmas características, todos possuem aspectos morfológicos similares, combinados de diferentes maneiras, o que caracteriza os indivíduos de uma mesma família. Essa nova classificação não invalida as já existentes – arquiteto, tipologia, região, período, escolas - apenas acrescenta uma nova maneira de analisar a arquitetura.

A Tabela 4.8 (Regras aplicadas x Edifícios do *corpus*) permitiu observar que alguns edifícios aparentemente diferentes foram gerados a partir das mesmas regras compositivas. Isso mostra que é possível agrupar edifícios não apenas por características morfológicas superficiais, mas pelo processo de projeto. Dessa forma conclui-se que é possível classificar edifícios levando em consideração sua composição, mas para isso é preciso realizar uma análise aprofundada de seu processo de projeto, e não apenas uma análise morfológica superficial. Esse processo se assemelha ao sequenciamento genético de um ser vivo.

As Tabelas 4.8 e 4.9 mostram que mesmo alguns edifícios que não se pareçam a primeira vista podem ser classificados em uma mesma família de objetos, pois resultam da aplicação das mesmas regras compositivas.

A gramática da forma permite a descrição de um projeto além da percepção visual. Gerar um projeto com o uso de uma gramática da forma não é simplesmente copiar algo que já foi feito, e sim entender todo o processo de composição de uma forma.

Além disso, neste trabalho, duas aplicações com a gramática da forma desenvolvida foram propostas. A primeira foi a sua utilização para a identificação de obras pertencentes à mesma linguagem, e a segunda foi a de geração de novas instâncias da linguagem. Há ainda a possibilidade de aplicá-la no ensino, pois a gramática da forma permite criar muitas alternativas de projeto, gerando uma maior amplitude de escolha. Pretende-se dar continuidade a esta pesquisa, explorando essas possibilidades em futuros estudos.

REFERÊNCIAS:

Ontology Disponível em: <<http://en.wikipedia.org/wiki/Ontology>> Acesso em: 11/abril/2007.

Oscar Niemeyer - Obras y Proyectos/Works and Projects 1ª ed. Barcelona: Editora Gustavo Gilli S.A, 1996.

Affonso Eduardo Reidy (org. Nabil Bonduki) 1ª ed. Lisboa, Portugal: Editora Blau /Instituto Lina Bo. e P. M. Bardi, 1999. 216 p. (Arquitetos Brasileiros.)

Oscar Niemeyer - 100 anos de Arquitetura, Arte e Vida Disponível em: <<http://www.100anososcarniemeyer.com/projetext.htm> > Acesso em: 10/maio/2007.

Taxonomic classification Disponível em: <<http://en.wikipedia.org/wiki/Taxonomic>> Acesso em: 11/abril/2007.

Ontologia (ciência da computação) Disponível em: <[http://pt.wikipedia.org/wiki/Ontologia_\(ci%C3%Aancia_da_computa%C3%A7%C3%A3o\)](http://pt.wikipedia.org/wiki/Ontologia_(ci%C3%Aancia_da_computa%C3%A7%C3%A3o))> Acesso em: 11/abril/2007.

Categorization Disponível em: <<http://en.wikipedia.org/wiki/Categorization>> Acesso em: 11/abril/2007.

Category (Kant) Disponível em: <http://en.wikipedia.org/wiki/Category_%28Kant%29> Acesso em: 11/abril/2007.

Categories (Aristotle) Disponível em: <[http://en.wikipedia.org/wiki/Categories_\(Aristotle\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Categories_(Aristotle))> Acesso em: 11/abril/2007.

Vilanova Artigas 1ª ed. São Paulo, SP.: Instituto Lina Bo e P. M. Bardi: Fundação Vilanova Artigas, 1997. 216 p. (Série Arquitectos Brasileiros.)

ANDRADA, ROGÉRIO P. Novo ecletismo de fim de século **Arquitextos**, São Paulo, SP., v. 069, n. 350, p. 1, fevereiro/2006 2006.
<http://www.vitruvius.com.br/arquitextos/arg000/esp350.asp>. Acesso em: 29/agosto/2006.

ARGAN, GIULIO CARLO. Sobre a tipologia em arquitetura in: NESBITT, KATE (TRAD. VERA PEREIRA) (org.). **Uma nova agenda para a arquitetura - antologia teórica (1965-1995)**. 1ª ed. São Paulo, SP.: Cosac & Naify, 2006. p. 267-272.

ARNHEIM, RUDOLF. **The Dynamics of Architectural Form**. 1ª. ed. Berkeley and Los Angeles, California.: University of California Press, 1975. 289 p.

ARTIGAS, ROSA (ORG.). **Paulo Mendes da Rocha / textos de Paulo Mendes da Rocha e Guilherme Wisnik**. 2ª ed. São Paulo, SP.: Cosac & Naify; Associação Brasil 500 Anos Artes Visuais; Fundação Bienal de São Paulo, 2000. 240 p.

BAKER, GEOFFREY H. **Le Corbusier: uma análise da forma (trad. Alvamar Helena Lamparelli)** 1ª ed. São Paulo, SP.: Martins Fontes, 1998. 385 p.

BENEVOLO, LEONARDO. **História da arquitetura moderna**. 3ª ed. São Paulo, SP: Editora Perspectiva, 1994. 813 p.

BLOOM, BEIJAMIM S. **Taxonomy of educational objectives: the classification of educational goals**. New York: David McKay, 1964

BRUAND, YVES. **Arquitetura Contemporânea no Brasil** 4ª ed. São Paulo, SP: Editora Perspectiva S. A., 1981. 398 p.

CAGDAS, G. A shape grammar: the language of traditional Turkish houses. **Environment and Planning B, Planning and Design**, v. 23, 1996a.

CELANI, GABRIELA. **Cad criativo** 1ª ed. Rio de Janeiro, RJ: Campus, 2003. 158 p.

CELANI, GABRIELA. Uma introdução ao computational design e às shape grammars na arquitetura e no desenho industrial **Interpretar Arquitetura**, Belo Horizonte, MG, v. 7, julho/2004 2004. <http://www.arq.ufmg.br/ia/>. Acesso em: 03/outubro/2005.

CHIOU, S-C e KRISHNAMURTI, R. Example Taiwanese traditional houses. **Environment and Planning B: Planning and Design**, v. 23, 191-216. 1996.

CHOMSKY, NOAM (tradução de Álvaro Lorencini e Sandra Margarida Nitrini). **Diálogos com Mitsou Ronat**. São Paulo, SP: Cultrix: Editora da Universidade de São Paulo, 1977.

CHOMSKY, NOAM (tradução de Madalena Cruz Ferreira). **Estruturas sintáticas**. 1ª ed. Lisboa, Portugal: Edições 70, 1957. 126 p. (Coleção Signos.)

COLAKOGLU, Birgul. An Informal Shape Grammars for Interpolations of Traditional Bosnian Hayat Houses in a Contemporary Context **Generative Art**, p. 1-9, 2002.

COLQUHOUN, ALAN. Tipologia e metodologia de projeto. in: NESBITT, KATE **Uma nova agenda para arquitetura: antologia teórica 1965-1995**. 1ª ed. São Paulo, SP: Cosac Naify, 2006. p. 274-283.

COLLARES, JULIO RAMOS. **Exoesqueletos no modernismo brasileiro nas décadas de 40 e 50 do século XX**. Porto Alegre, RS, 2003. 192 f. Dissertação de Mestrado (Área de Arquitetura) - Propar Departamento de Arquitetura, FAUFRGS - Convênio UFRGS/Ritter dos Santos.

COLLARES, JULIO. **Exoesqueletos primogênitos: Le Corbusier e o Palácio dos Soviets** Disponível em:
<http://www.ufrgs.br/propar/domino/2005_01/txt05_2005_01.htm> Acesso em: 23/maio/2007.

CONDE, MAURO L. L. Wittgenstein e a gramática da ciência **Unimontes Científica**, v. 6, n. 1, p. 1, janeiro-junho/2004 2004.
http://www.unimontes.br/unimontescientifica/revistas/Anexos/artigos/revista_v6_n1/05_dossie_wittgenstein.htm. Acesso em: 30/agosto/2006.

CORONA, EDUARDO. **Oscar Niemeyer: uma lição de arquitetura (apontamentos de uma aula que perdura há 60 anos)** 1ª ed. São Paulo, SP.: FUPAM, 2001. 132 p.

CYPRIANO, DÉBORA Z. **A gramática das casas Queen Anne** Campinas, SP, 2006. 19 f. Trabalho Acadêmico (Estudo Dirigido I) - Curso de Arquitetura e Construção, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Unicamp.

EDGHILL, E. M. (tradução). Categories 2001.
<http://classics.mit.edu/Aristotle/categories.html>. Acesso em: 2008.

EILOUIT, Buthayna H.; AL-JOKHADAR, Amer, M. I. A Computer-Aided Rule-Based Mamluk Madrasa Plan Generator. **Nexus Network Journal**, Turin, 2007 2007. 9 / 1, p. 31-58.

FLIEG, HANS GHÜNTER . **Coleção Pirelli/Masp de Fotografia**. Disponível em
<http://site.pirelli.14bits.com.br/files/work/image/117/400px_CP0117_03_19.jpg>
Acesso em: 2007.

FLEMMING, URICH. More than the sum of parts: the grammar of Queen Anne houses
Environment and Planning B: Planning and Design, v. 14, p. 323-350, 1987.

GIPS, J.; STINY, G. Production systems and grammars: a uniform characterization
Environment and Planning B: Planning and Design, v. 7, p. 399-408, 1980.

GIPS, J. Computer Implementation of Shape Grammars. Invited paper, **Workshop on Shape Computation**, MIT, 1999.

GRUBER, T. R. Toward principles for the design of ontologies used for knowledge sharing. **In International Journal of Human-Computer Studies**, v. 43, pp. 907-928, November 1995.

GUIMARAENS, CÊÇA. **Movimento Modernista** Disponível em:
<<http://www.mre.gov.br/cdbrasil/itamaraty/web/port/artecult/arqurb/apresent/index.htm>>
Acesso em: 21/setembro/2005.

HEBECHE, LUIZ A. Não pense, veja! Sobre a noção de semelhança de família em Wittgenstein. **Veritas**, Porto Alegre, RS, v. 48, p. 31-58, 2003 2003.
<http://www.cfh.ufsc.br/~wfil/veja.pdf>. Acesso em: 31/março/2006.

IRIGOYEN, ADRIANA. **Wright e Artigas: duas viagens**. São Paulo, SP: Atelie Editorial, 2002.

JACOB, ELIN K. Classification and categorization: a difference that makes a difference. **Library Trends**, Illinois, EUA, v. 52, n. 3, p. 515-540, 2004.
sils.unc.edu/~fu/IR/fulltext/jacob_classification_and_categorization.pdf . Acesso em: 2006.

JENCKS, CHARLES. **Le Corbusier and the continual revolution in architecture**. 1ª ed. New York, EUA.: The Monacelli Press, Inc., 2000.. 348 p.

KAMITA, JOÃO MASAO. **Espaços da arte brasileira / Vilanova Artigas**. 1ª ed. São Paulo, SP.: Cosac & Naify, 2000. 128 p.
KANT, IMMANUEL (tradução de Manuela Pinto dos Santos e Alexandre Fradique Morujão). **Crítica da razão pura**. 1ª ed. Lisboa, Portugal: Fundação Calouste Gulbenkian, 2001. 680 p.

KAULA, PRITHVI N. Rethinking on the concepts in the study of classification. **Herald of Library Science**, Londres, UK, v. 23, n. 2, p. 30-44, Abril 1984.

KNIGHT, TERRY W. Shape grammars and color grammars **Environment and Planning B: Planning and Design**, v. 21, p. 705-735, 1994.

KNIGHT, TERRY W. Shape grammars **Environment and Planning B: Planning and Design**, v. Anniversary Issue, p. 86-91, 1998

KNIGHT, TERRY W. The generation of Hepplewhite-style chair-back designs **Environment and Planning B: Planning and Design**, v. 7, p. 227-238, março/1980.

KNIGHT, TERRY. **Shape grammar** Disponível em:
<http://www.mit.edu/~tknight/IJDC/frameset_abstract.htm> Acesso em: julho/2005.

KONING, H.; EIZENBERG, J. The language of the prairie: Frank Lloyd Wright's prairie houses **Environment and Planning B: Planning and Design**, v. 8, p. 295-323, 1981.

KOFFKA, KURT. **Princípios da psicologia da Gestalt**. São Paulo, SP: Cultrix: Editora da Universidade de São Paulo, 1975. 703 p.

KULTERMANN, UDO. **Kenzo Tange: Works and Projects** 1ª ed. Barcelona: Editora Gustavo Gili S.A, 1989. 170 p.

LAMPREIA, CAROLINA. Linguagem e atividade no desenvolvimento cognitivo: algumas reflexões sobre as contribuições de Vygotsky e Leontiev. **Psicologia: Reflexão e Crítica.**, Porto Alegre, RS, v. 12, n. 1, p. 5, 1999 1999.

http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-79721999000100015.

Acesso em: 15/maio/2007.

LARA, FERNANDO. A insustentável leveza da modernidade **Arquitextos**, São Paulo, SP., v. 057, n. 276, fevereiro/2005 2005.

<http://www.vitruvius.com.br/arquitextos/arq000/esp276.asp>. Acesso em: 29/agosto/2006.

LEVINE, NEIL. **The architecture of Frank Lloyd Wright** 1ª ed. Princeton, New Jersey: Princeton University Press, 1996. 544 p.

LIEW, HALDANE. Descriptive Conventions for shape grammars *In: ACADIA 2002*, 2002, , 2002. p. 365-378.

LOPES, JOÃO MARCOS; BOGEA, MARTA; REBELO, YOPANAN. **Poupatempo & MAC Niterói: Diferenças e semelhanças** Disponível em:

<<http://www.arcoweb.com.br/estruturas/estruturas3.asp> > Acesso em: 10/maio/2007.

LUCCAS, LUIS H. H. Arquitetura moderna e brasileira: o constructo de Lucio Costa como sustentação **Arquitextos**, São Paulo, SP., v. Texto Especial 323, agosto/2005 2005. <http://www.vitruvius.com.br/arquitextos/arq000/esp323.asp>. Acesso em: 18/outubro/2005.

LUCCAS, LUIS HENRIQUE HAAS. **A escola carioca e a arquitetura moderna em Porto Alegre** Disponível em:

<<http://www.vitruvius.com.br/arquitextos/arq000/esp370.asp> > Acesso em: 11/abril/2007.

MAHFUZ, EDSON DA CUNHA. Ordem, estrutura e perfeição no trópico. Mies van der Rohe e a arquitetura paulistana na segunda metade do século XX. **Arquitextos**, São Paulo, SP., v. 057, n. 057.02, p. 5, fevereiro, 2005. 2005.. www.vitruvius.com.br. Acesso em: 19/março/2007.

MARCH, L. e KNIGHT, T. W. Design and Computation: the Los Angeles School 1972-1997 (eds), Theme Issue. **Environment and Planning B: Planning and Design**, v. 24, 1997.

MAYER, ROSIRENE. **A linguagem de Oscar Niemeyer** Porto Alegre, RS, 2003. 193 f. Dissertação de Mestrado (Teoria, História e Crítica da Arquitetura) - Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

MELENDEZ, ADILSON. Jóia modernista incrustada em território barroco. In **ProjetoDesign**, Ed. 334, dezembro de 2007. Disponível em <<http://www.arcoweb.com.br/arquitetura/arquitetura815.asp>> Acesso em: 2008.

MINDLIN, HENRIQUE E. **Modern Architecture in Brazil** 1ª ed. Rio de Janeiro, RJ: Colibris Editora Ltda, 1956. 286 p.

MITCHELL, W. J. The theoretical foundation of computer-aided architectural design . **Environment and Planning B**, v. 2, p. 127-150, 1975.

MITCHELL, WILLIAN . **The logic of architecture** 4ª ed. Cambridge: The MIT Press., 1990. 292 p.

MOLES, ABRAHAM A. **A criação científica (trad. Gita K. Guinsburg)** 1ª ed. São Paulo, SP.: Editora Perspectiva, 1971. 292 p. (Coleção Estudos.)

NESBITT, KATE. **Uma nova agenda para a arquitetura: analogia teórica 1965-1995.** 1ª ed. São Paulo, SP: Cosac Naify, 2006. 659 p.

OTERO, CARLOS-PEREGRÍN. **Introducción a la lingüística transformacional (restrospectiva de una confluencia)** 5ª ed. México: Siglo Veintiuno Editores SA, 1970. 300 p.

PALLAMIN, VERA M. **Princípios da Gestalt na organização da forma - abordagem bidimensional** São Paulo, SP., 1985. Dissertação de Mestrado (Área de Arquitetura) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo.

PAPADAKI, STAMO. **Oscar Niemeyer: Works in Progress.** 1ª ed. New York, EUA.: Reinhold Publishing Corporation., 1956. 192 p.

PENEDO, ALEXANDRE. **Arquitetura Moderna - São José dos Campos** 1ª ed. São José dos Campos, SP: A. Penedo, 1997. 227 p.

PÉREZ-GÓMEZ, ALBERTO. **Architecture and the crises of modern science** 1ª ed. Cambridge: The MIT Press., 1983. 424 p.

PROENÇA, VINÍCIUS. **Gestalt Theorie - A Teoria da Boa Forma** Disponível em: <http://www.desenhoindustrial.com.br/artigos_t_gestalt.htm> Acesso em: junho/2007.

RAHAL, MARINA SILVA. **O conforto térmico nas residências de Rino Levi**. São Paulo, SP, 2006. Dissertação de Mestrado (Arquitetura, Urbanismo e Tecnologia) - Escola de Engenharia de São Carlos (EESC), Universidade de São Paulo.

REGO, RENATO L. Breve história de três idéias: motivos formais recorrentes na produção da arquitetura moderna brasileira *In*: 16º CONGRESSO BRASILEIRO DE ARQUITETOS, 16., 2000, Cuiabá, MS. **Colóquio Arquitetura Brasileira: Redescobertas**. Belo Horizonte / Cuiabá: Instituto dos Arquitetos do Brasil - MG, 2000. p. 94-94.

REIDY, AFFONSO EDUARDO. O Museu de Arte Moderna do Rio de Janeiro **Habitat**, São Paulo, SP., n. 46, p. 20-23, jan/fev 1958.

SCOCUGLIA, J. B. C. Arquitetura moderna no Nordeste 1960-70: a produção de Borsoi em João Pessoa. Influências pernambucanas e necessidade de preservação **Arquitextos**, São Paulo, SP., v. 063, n. 063.02, p. 1-5, agosto/2005 2005. http://www.vitruvius.com.br/arquitextos/arq063/arq063_02.asp. Acesso em: 30/setembro/2005.

SEGRE, ROBERTO. **Arquitetura brasileira contemporânea** 1ª ed. Petrópolis, RJ: Viana & Mosley, 2003. 204 p.

SERAPIÃO, FERNANDO. Arquitetura para ganhar tempo. **ProjetoDesign**, São Paulo, SP, n. 253, 2001 2001. <http://www.arcoweb.com.br/arquitetura/arquitetura77.asp>. Acesso em: 2006.

SMYTH, M. ; EDMONDS, E. Supporting design through the strategic use of shape grammars **Knowledge-Based Systems**, v. 13, p. 385-393, 2000.

STINY, GEORGE; GIPS, JAMES. Shape grammars and the generative specification of painting and sculpture. **Information Processing**, Amsterdam, Holanda, v. 71, p. 125-135, 1972.

STINY, G. ; MITCHELL, W. J. The grammar of paradise: on the generation of Mughul gardens **Environment and Planning B: Planning and Design**, v. 7, p. 209-226, 1980.

STINY, GEORGE. Two exercises in formal composition **Environment and Planning B: Planning and Design**, v. 3, p. 187-210, 1976.

STINY, GEORGE. Kindergarten grammars: designing with Froebel's building gifts **Environment and Planning B: Planning and Design**, v. 7, p. 409-462, 1980.

STINY, GEORGE. Introduction to shape and shape grammars **Environment and Planning B: Planning and Design**, v. 7, p. 343-351, 1980.

TAPIA, M. A visual implementation of a shape grammar system **Environment and Planning B: Planning and Design**, v. 26, p. 59-73, 1999.

TINEM, NELCI. Arquitetura moderna brasileira: a imagem como texto **Arquitextos**, São Paulo, SP., v. 072, n. 072.02, maio/2006 2006.
http://www.vitruvius.com.br/arquitextos/arq072/arq072_02.asp. . Acesso em: agosto/2006.

TURKIENICZ, B. Brasília – A arquitetura da crítica. **A&U – Arquitetura e Urbanismo**, São Paulo, v. 55, p. 53-56, 1994.

XAVIER, ALBERTO; LEMOS, CALORS; CORONA, EDUARDO. **Arquitetura moderna paulistana**. São Paulo, SP: Editora Pini, 1983.

XAVIER, ALBERTO. **Arquitetura moderna em Porto Alegre**. 1ª ed. São Paulo, SP: Editora Pini, 1987.

WEBER, RAQUEL. **A linguagem da estrutura na obra de Vilanova Artigas** Porto Alegre, RS, 2005. 115 f. Dissertação de Mestrado (Teoria, História e Crítica da Arquitetura) - Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

WESTPHAL, EDUARDO. **A linguagem da arquitetura hospitalar de João Filgueiras Lima**. Porto Alegre, RS, 2007. 130 f. Dissertação de Mestrado (arquitetura) - Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

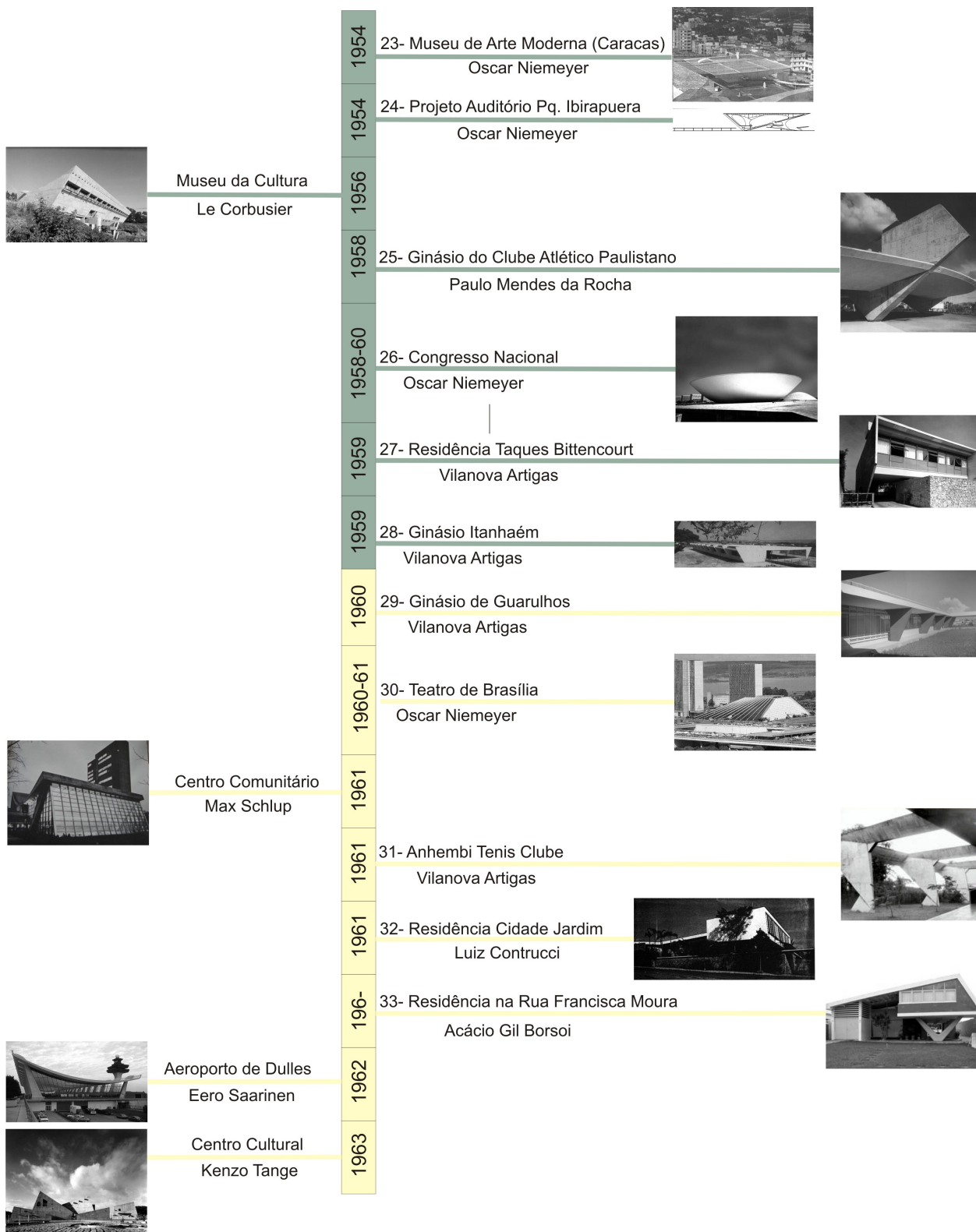
WITTGENSTEIN, LUDWIG (tradução de José Carlos Bruni). **Investigações filosóficas**. São Paulo, SP: Nova Cultural, 1999. 207 p. (Os Pensadores).

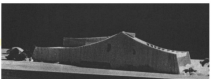
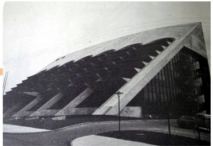
Apêndice A – Relação das obras com fachadas inclinadas

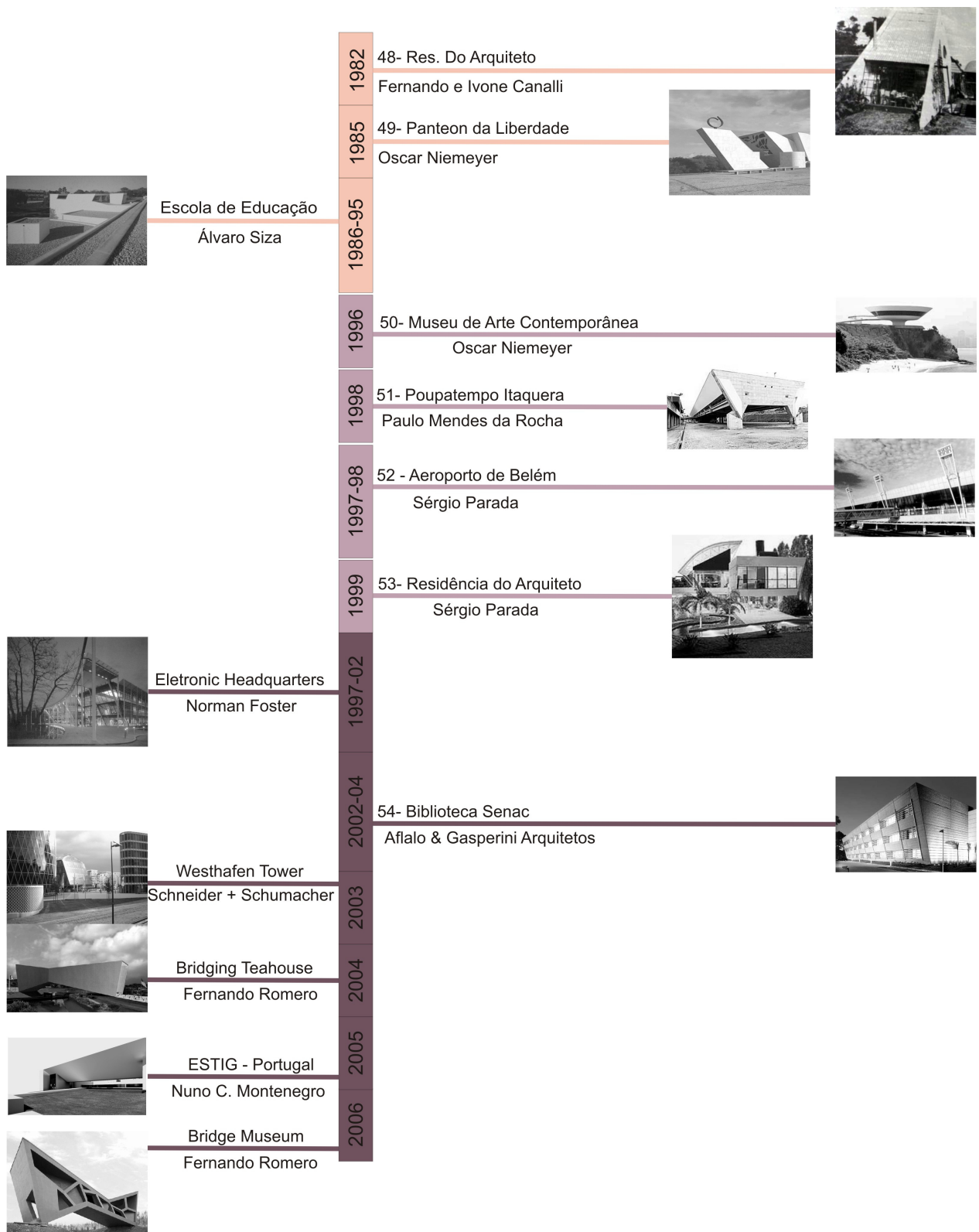
OBRAS INTERNACIONAIS	ANO	OBRAS BRASILEIRAS
	2.700 A.C.	
Pirâmides Egito		
	450 D.C.	
Pirâmide Maia		
	1936	
Casa e Estúdio Frank Lloyd Wright		
	1938	
Pfeiffer Chapel Frank Lloyd Wright		
	1941	1- Teatro Municipal de Belo Horizonte Oscar Niemeyer
	1943	2 - Projeto Conj. Fabril Sidney Ross Co. Affonso Eduardo Reidy
	1945	3- Residência Prudente de Moraes Oscar Niemeyer
	1945	4- Projeto Iate Clube Fluminense Oscar Niemeyer
	1946	5- Residência Mendes Oscar Niemeyer
	1946	6- Casa Benedito Levi Vilanova Artigas



1947	7- Centro Técnico da Aeronáutica	Oscar Niemeyer		
1947	8- Laboratório de Estruturas - CTA	Oscar Niemeyer		
1947	9- Projeto Centro Técnico da Aeronáutica	Afonso Eduardo Reidy		
1948	10- Proj. Auditório Min. da Educação	Oscar Niemeyer		
1948	11- Estação Elevatória para Abastecimento de Água	Afonso Eduardo Reidy		
1950	12 - Lavanderia e Mercado - Pedregulho	Afonso Eduardo Reidy		
1950	13- Teatro popular Marechal Hermans	Afonso Eduardo Reidy		
1950	14 - Res. Maria Flor Vieira	Carlos Fayet		
1950-51	15- Fábrica Duchen	Oscar Niemeyer		
1951	16- Hotel Tijuco	Oscar Niemeyer		
1951	17- Escola Julia Kubitschek	Oscar Niemeyer		
1951	18- Estádio Morumbi	Vilanova Artigas		
1952	19- Residência Leonel Miranda	Oscar Niemeyer		
1952	20- Projeto Estação de Televisão	Oscar Niemeyer		
1952	21- Colégio Paraguay-Brasil	Afonso Eduardo Reidy		
1953	22- Museu de Arte Moderna (RJ)	Afonso Eduardo Reidy		



1963	34- Projeto para Ginásio de Esportes Ícaro de Castro Mello		
1964-65	35- Estádio Governador Maqalhães Pinto Eduardo Mender Guimarães Jr. / Gaspar Garreto		
1965	36- Quartéis-Generais II Exército Paulo de Mello Bastos, Leo Bonfim Jr, O		
1965-68	37- Centro Cívico Santo André Rino Levi		
1966	38- Residência Sondeyker Fábio Penteado e Alfredo Paesani		
1967	39- Projeto para Concurso de Mercado Massimo Fiocchi		
1967-68	40- Centro de Convivência Cultural de Campinas Fábio Penteado		
1971	41- Centro Pompidou Paulo Mendes da Rocha		
1971	42- Ginásio de Esportes da Associação Cristã para Moços Ivan Mizoguchi e Iara Carvalho		
1975	43- Museu de Arte Contemporânea - USP Paulo Mendes da Rocha		
1975	44- Res. Paulo Iwersen Manoel Coelho		
1977	45- Edifício-sede da Acarpa Luiz Netto, Orlando e Olívia Busarello		
1977	46- Res. Aníbal Maia Oscar Mueller		
1981	47- Ag. Banco do Brasil Sílvia Rocha		



Apêndice B – Alternativas preliminares para o *corpus* de análise

Neste primeiro momento, foram selecionados, como *corpus*, a Residência H19 do CTA (Oscar Niemeyer), a Fábrica Duchên (Oscar Niemeyer), o Museu de Arte Moderna do Rio de Janeiro (Affonso Reidy), o Ginásio Itanhaém (Vilanova Artigas), o Clube Atlético Paulistano (Mendes da Rocha), e o projeto do Ginásio de Esportes (Ícaro Mello), mostrados na Tabela B.1. O desenvolvimento da gramática da forma foi paramétrico, ou seja, foram consideradas somente as relações topológicas e não as proporções rígidas. Para a definição da gramática para essa primeira alternativa, um conjunto de regras 2D foi desenvolvido, como mostra a Tabela B.2. Além disso, a derivação de um dos edifícios foi realizada para verificar se as regras desenvolvidas pudessem gerá-lo.

TABELA B.1 – Obras do *corpus* de análise da primeira tentativa preliminar
PRIMEIRA ALTERNATIVA

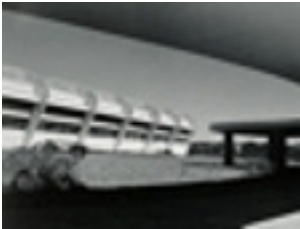
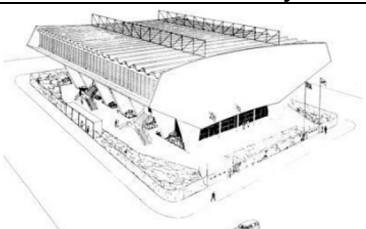
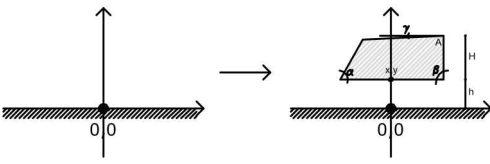
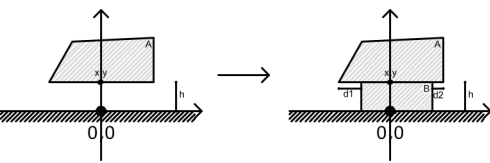
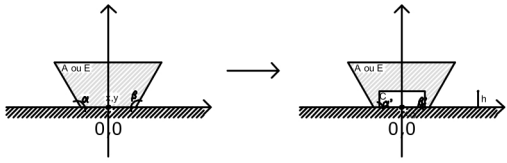
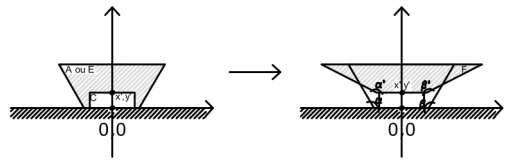
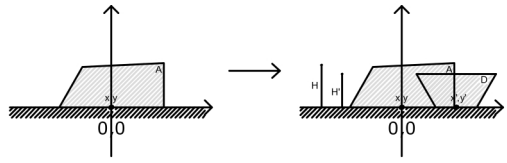
 Residência CTA, 1947 – Oscar Niemeyer.	 Fábrica Duchen, 1950-51 – Oscar Niemeyer
 Museu de Arte Moderna, 1953 – Affonso E. Reidy.	 Clube Atlético Paulistano, 1958 – Paulo Mendes da Rocha.
 Projeto para Ginásio de Esportes, 1963 – Ícaro C. Mello.	 Ginásio Itanhaém, 1959 – Vilanova Artigas.

TABELA B.2 – Regras de Produção 2D – 1ª fase

Regras de Produção	Número da Regra
	01 Inserção de uma forma trapezoidal
	02 Inserção de pilares embaixo da forma inserida na regra 01

	03 Abertura de um vazio na forma para criar pilares
	04 Insere um trapézio B no trapézio A
	05 Adição de um trapézio D no trapézio A
	06 Recorta uma forma no canto de cima
	07 Arredonda o canto de cima

Na regra 01, h pode ser substituído pelos valores 0, para inserir a forma diretamente na base, ou 3, para inserir a 3 metros da base (1 pavimento). Neste caso, aplica-se a regra 02. Os possíveis valores de h podem ser representados com a seguinte expressão:

$$h = \{0, 3\}$$

O valor para H é sempre multiplicado pelo número de pavimentos vezes 3 (altura média de 1 pavimento) e pode ser expressa:

$$H = n \cdot 3$$

$$n = \{1, 2, 3, \dots, \max\}$$

max é o valor máximo do número de pavimentos permitido dentro da seção trapezoidal.

Os valores de α e β variam de 0° a 180° , mas um deles tem que ser diferente de 90° , então temos:

$$0^\circ < \alpha < 180^\circ \text{ e } 0^\circ < \beta < 180^\circ$$

$$\alpha \neq 90^\circ \text{ ou } \beta \neq 90^\circ$$

O valor para a inclinação do telhado não foi decidido neste momento, portanto, podemos afirmar que:

$$0^\circ \leq \gamma < 90^\circ$$

A regra 02 só pode ser aplicada se o valor h da regra 01 for igual a 3. Ela permite inserir pilares abaixo da forma trapezoidal inserida na regra anterior.

Esses tipos de pilares estão presentes na Residência Prudente de Moraes, de O. Niemeyer e são sempre colocados recuados em relação a forma, portanto, as distâncias d_1 e d_2 são sempre diferentes de 0:

$$d_1 \neq 0 \text{ e } d_2 \neq 0$$

A regra 03 subtrai uma forma B da forma A inserida na regra 01, desde que h , da primeira regra, tenha sido igual a 0. A forma B deve estar contida em A :

$$B \subset A$$

Quando a forma B é subtraída de A, um vazio é aberto dentro do trapézio inicial, e B pode ser um trapézio ou um retângulo. A única restrição é em relação aos ângulos α' e β' , que podem variar em:

$$0^\circ < \alpha' \leq \alpha \text{ e } 0^\circ < \beta' \leq \beta$$

A base da forma B tem que ser menor que a base de A e a altura de B sempre terá a altura de 1 pavimento (3 metros):

$$h = 3$$

A regra 04 adiciona um trapézio B na forma A, que foi inserida na regra 01 e a intersecção entre elas é diferente de 0:

$$B \cap A \neq \emptyset$$

O trapézio B deve ser centrado em A e sua altura deve ser igual a 1 pavimento.

A regra 05 adiciona um trapézio C na mesma base da forma A (regra 01):

$$C \cap A \neq \emptyset$$

$$y' = y$$

O trapézio C deve ter uma altura menor que a forma A.

$$H' > H$$

$$x' \neq x$$

Esta regra permite a geração de outras variações de edifícios, como podemos observar nas seções do Teatro Popular Marechal Hermes, Affonso Reidy e a Fábrica Duchon, de Oscar Niemeyer (Figura B.1).

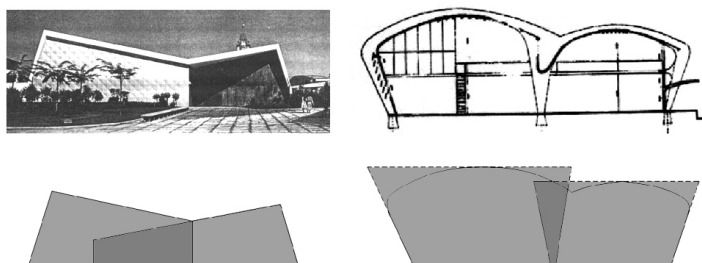


FIGURA B.1: Teatro Marechal Hermes, 1950 e Fábrica Duchen, 1950-51

Fonte das figuras: BONDUKI, 1999, p. 143; COLLARES, 2003, p. 83

A Regra 06 é uma regra de subtração que se aplica em formas que necessitem recortar os cantos superiores, como é o caso do Ginásio de Esportes, de Ícaro Mello e o Centro de Convivência Cultural de Campinas, de Fábio Penteado (Figura B.2). Para o Ginásio de Esportes, antes dessa regra, devemos aplicar a de número 04, que insere um trapézio no outro. A grande diferença entre esses dois projetos é que a seção do Ginásio é simétrica e a do Centro de Convivência é assimétrica, portanto, essa regra pode ser aplicada em um ou nos dois cantos do trapézio.

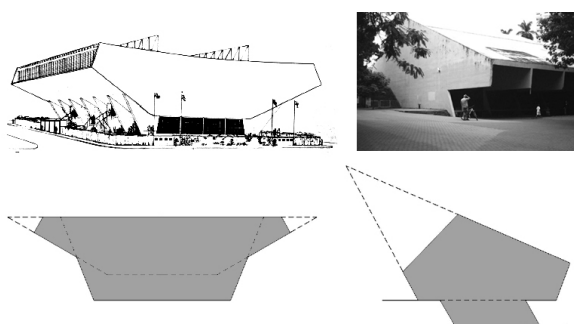


FIGURA B.2: Ginásio de Esportes, 1963 e Centro de Convivência, 1967-68

Fonte das figuras: ACRÓPOLE, 1961, p. 137; CELANI, 2007.

A regra 07 é similar a 06, mas ao invés de recortarmos o canto, há o arredondamento dele. Esta regra pode ser aplicada para geração de edifícios como o Laboratório de Estrutura e a Fábrica Duchen, ambos de Oscar Niemeyer.

Para testar as regras, elas foram aplicadas para gerar um edifício do *corpus*: o Clube Atlético Paulistano, de Paulo Mendes da Rocha. A Figura B.3 mostra uma foto, a seção desta obra e sua derivação.

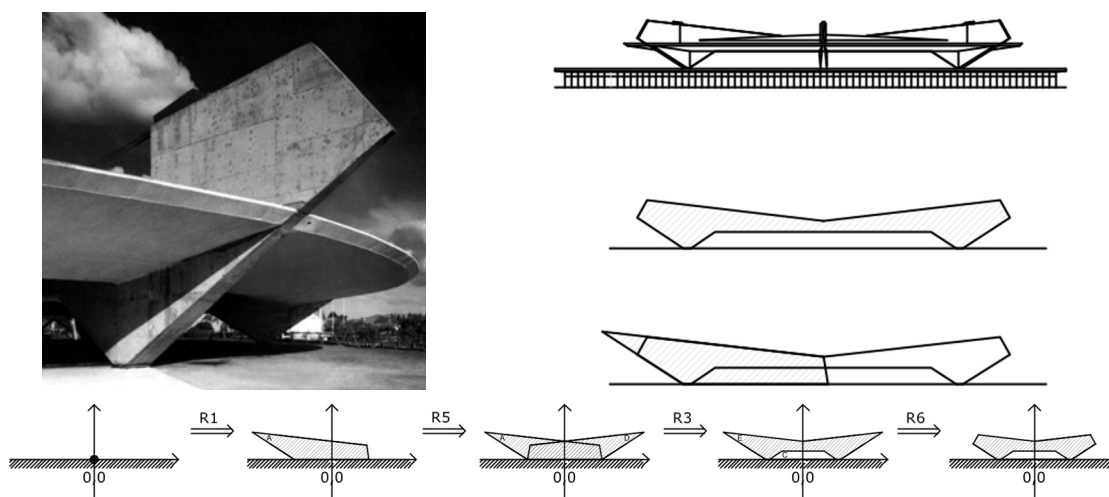


FIGURA B.3: Foto do Clube Atlético Paulistano; Seção do edifício e Derivação.

Fonte da figura: ARTIGAS, 2000. capa.

É possível gerar a seção desse edifício com a combinação das regras 01, 03, 05 e 06. No entanto, concluímos que esse desenho gerado possui características semelhantes à seção do desenho original.

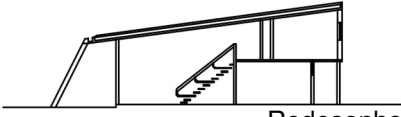
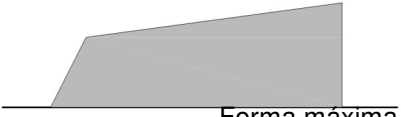
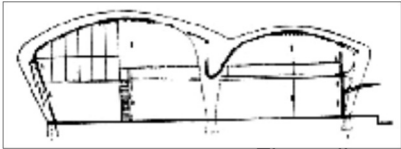
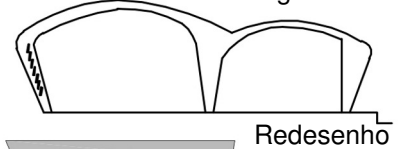
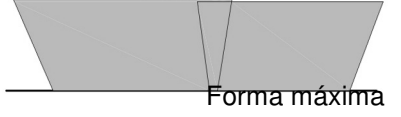
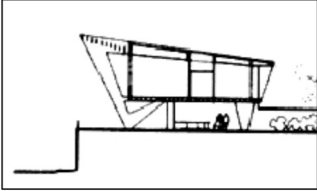
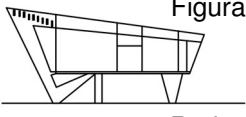
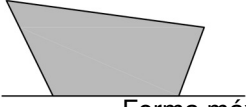
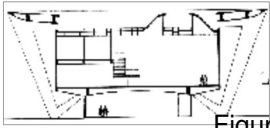
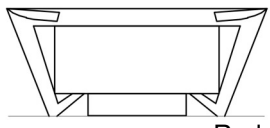
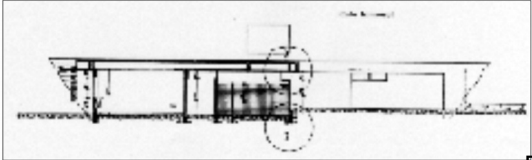
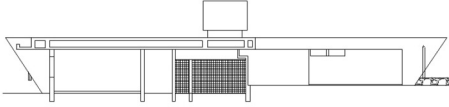
Após a definição da forma máxima, mostrada no capítulo 4, na seção 4.2 foi realizada a segunda alternativa de *corpus*, que inclui obras de Oscar Niemeyer, Affonso

Reidy e Vilanova Artigas e são mostradas na Tabela B.3. Sendo assim, a forma máxima para cada seção dos edifícios foram criados e estão relacionados na Tabela B.4.

TABELA B.3 – Obras do *corpus* de análise da segunda tentativa preliminar
SEGUNDA ALTERNATIVA

	
 Residência CTA, 1947 – Oscar Niemeyer.	 Fábrica Duchen, 1950-51 – Oscar Niemeyer
	

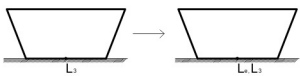
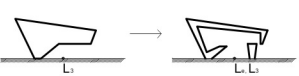
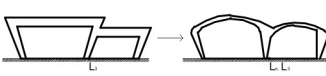
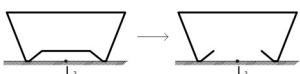
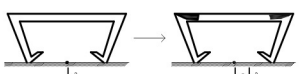
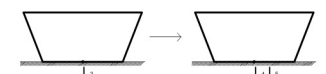
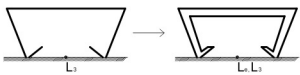
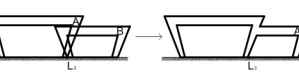
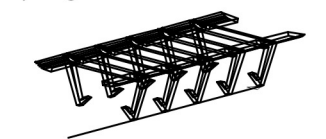
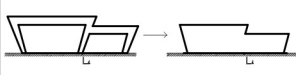
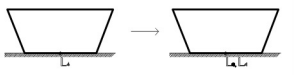
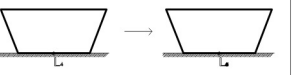
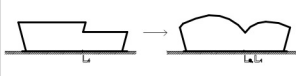
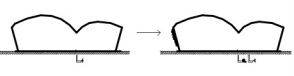
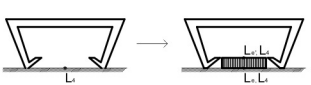
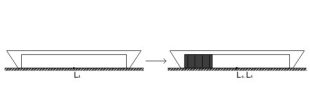
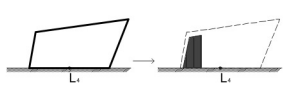
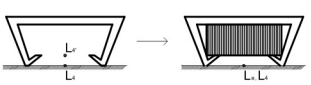
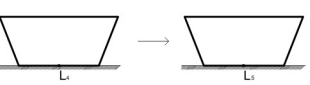
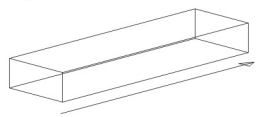
TABELA B.4 – Criação da Forma Máxima

 Figura livro  Redesenho  Forma máxima Residência CTA	 Figura livro  Redesenho  Forma máxima Fábrica Duchen
 Figura livro  Redesenho  Forma máxima Escola Brasil-Paraguai	 Figura livro  Redesenho  Forma máxima Museu de Arte Moderna
 Figura livro  Redesenho  Forma máxima Ginásio Itanhaém	

Após a definição das formas máximas desses edifícios, as regras de produção, desenvolvidas para a primeira alternativa de *corpus*, foram aperfeiçoadas. Partindo da inserção de uma forma máxima, a “terminação” é gerada, se houver, depois a estrutura inclinada, se houver, e enfim, a geração dos planos, como podemos ver nas regras da Tabela B.5.

TABELA B.5 – Regras de Produção 2

Etapa I – Forma Máxima		
I) Regra 1:		I) Regra 3
I) Regra 2		I) Regra 4
Etapa II – Terminação		
II) Regra 1	II) Regra 3	II) Regra 5
II) Regra 2	II) Regra 4	
Etapa III – Elemento Estrutural		

III) Regra 1 	III) Regra 4 	III) Regra 7 
III) Regra 2 	III) Regra 5 	III) Regra 8 
III) Regra 3 	III) Regra 6 	III) Regra 9 
Etapa IV – Corpo Inclinado		
IV) Regra 1 	IV) Regra 3 	IV) Regra 5 
IV) Regra 2 	IV) Regra 4 	IV) Regra 6 
Etapa V – Corpo Ortogonal		
V) Regra 1 	V) Regra 3 	V) Regra 5 
V) Regra 2 	V) Regra 4 	V) Regra 6 

Com as 30 regras descritas acima, foram realizadas as derivações para verificar se as regras puderam gerar as obras desse *corpus*, como podemos ver na Tabela B.6, da página seguinte.

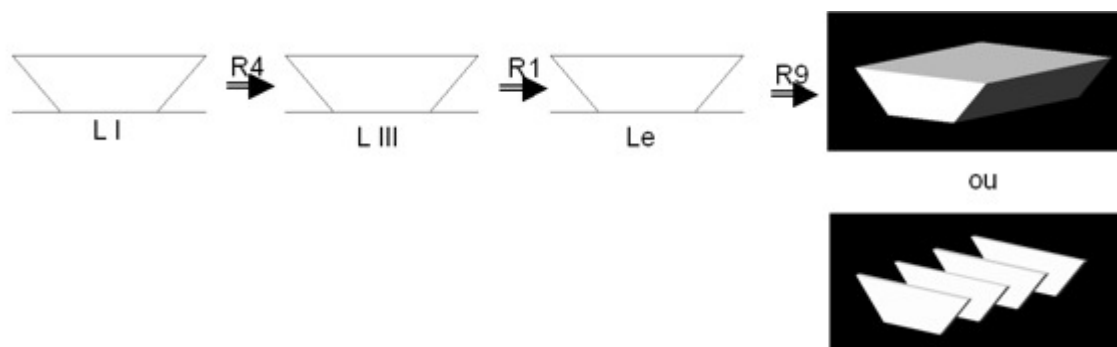
TABELA B.6 – Derivações dos edifícios segundo *corpus* preliminar

RESIDÊNCIA CTA	
FÁBRICA DUCHEN	
ESCOLA BRASIL-PARAGUAI	
MUSEU ARTE MODERNA	
GINÁSIO ITANHAÉM	

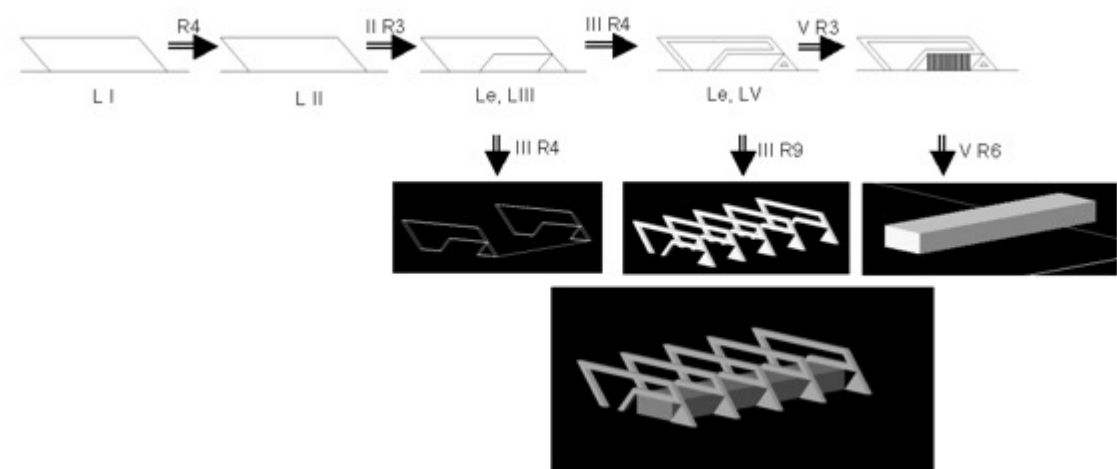
Apêndice C – Resultado do teste da gramática

Aluno 01

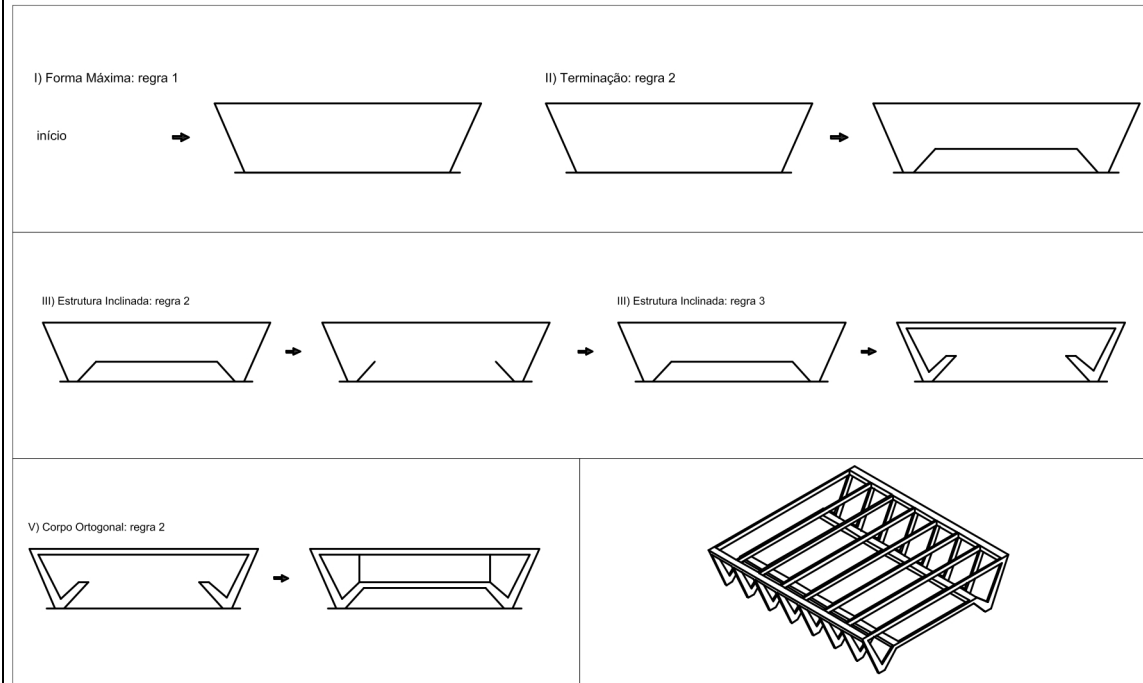
1ª Tentativa



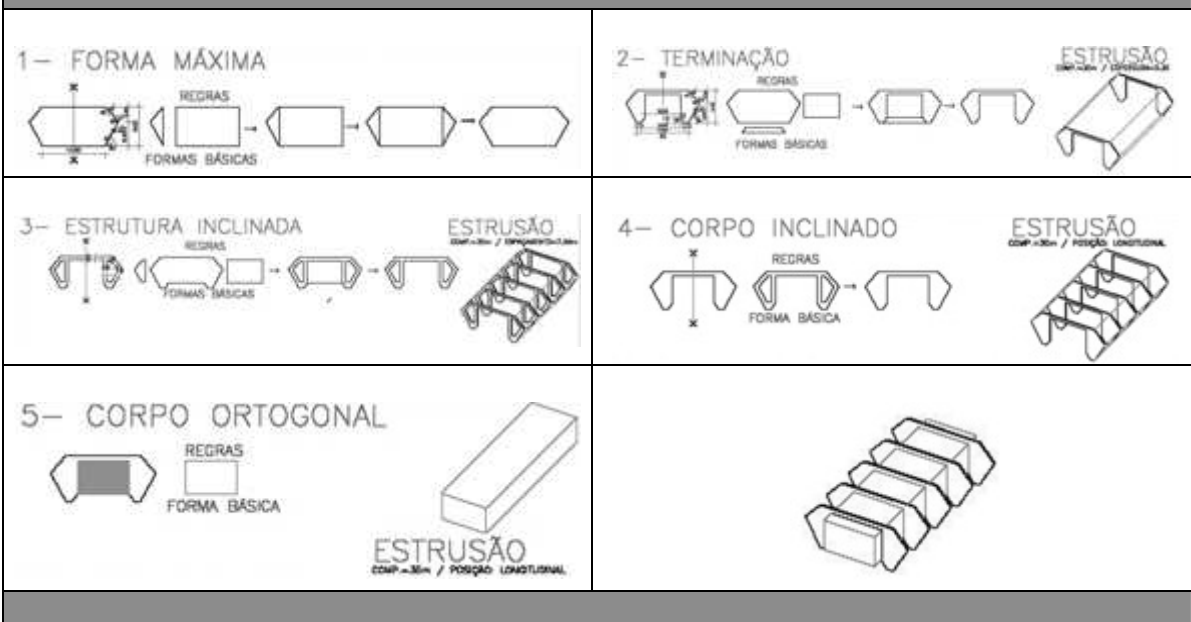
2ª Tentativa



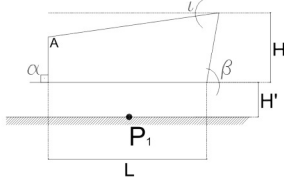
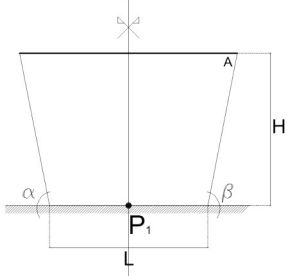
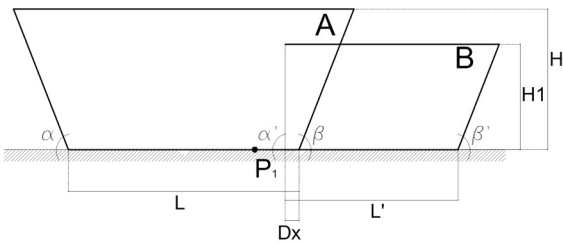
Aluno 02

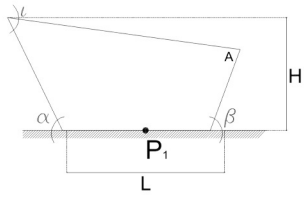
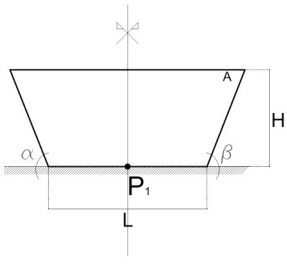
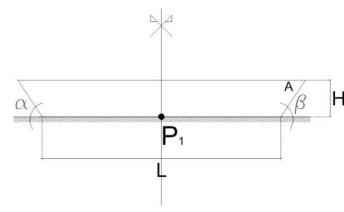
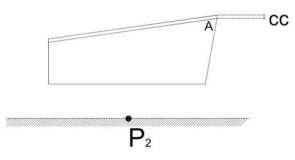
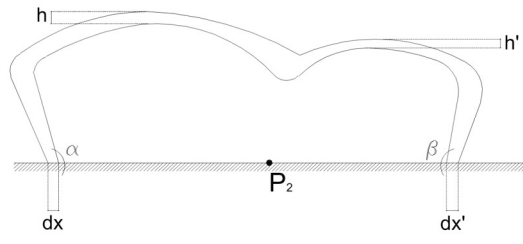


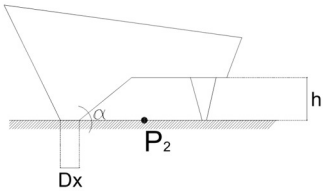
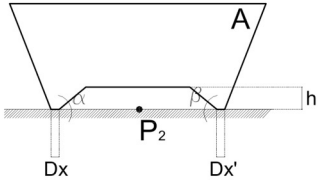
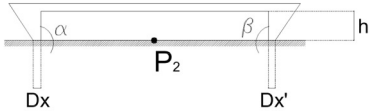
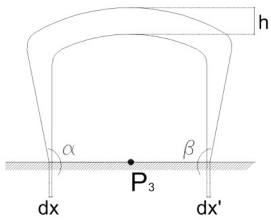
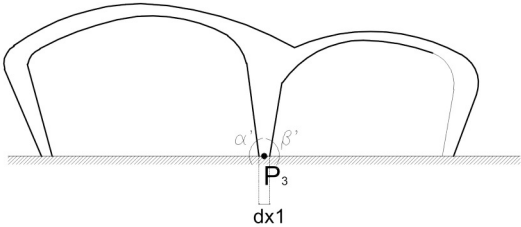
Aluno 03

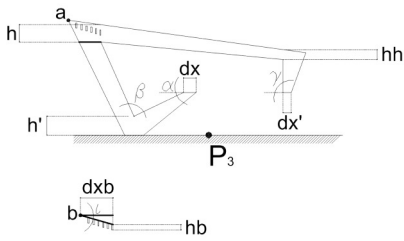
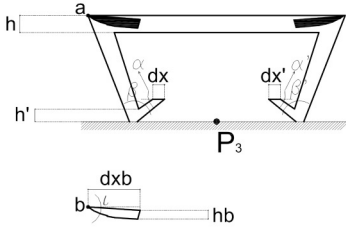
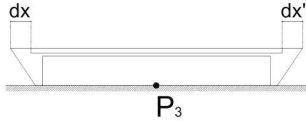
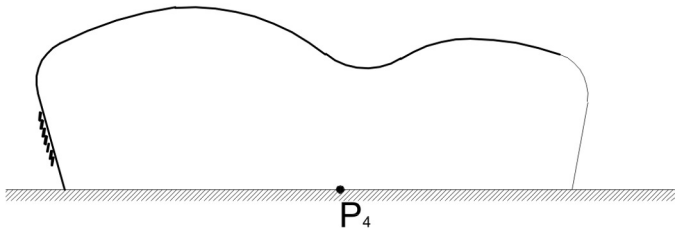


Apêndice D – Parâmetros dos edifícios do *corpus*

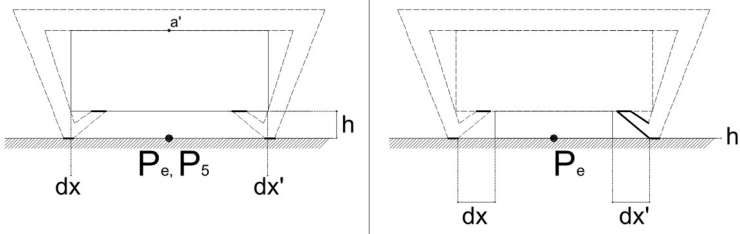
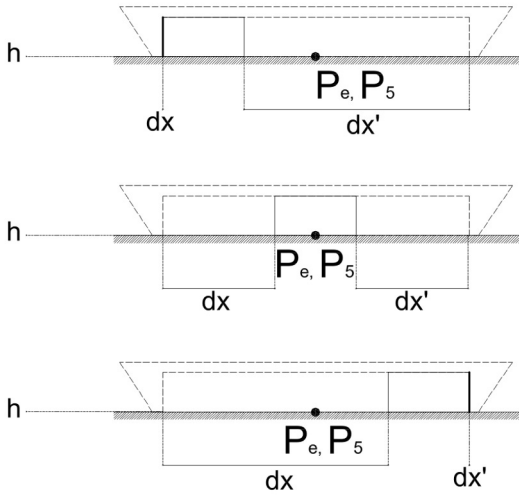
I – FORMA MÁXIMA (FM)		PARÂMETROS
Residência Benedito Levi		$\alpha = 90^\circ$ $\beta = 80^\circ$ $H = 4,85$ metros $H' = 1$ pavimento $L = 11,00$ metros $\iota = 8^\circ$
Laboratório de Estruturas		$\alpha = \beta = 79^\circ$ $H = 14,50$ metros $H' = 0$ $L = 15,40$ metros $\iota = 0^\circ$
Fábrica Duchen		$\alpha = \beta = \beta' = 70^\circ$ $\alpha' = 90^\circ$ $H = 14,00$ metros $H' = 0$ $H1 = 11,00$ metros $L = 20,00$ metros $L' = 17,00$ metros $Dx = 0,95$ metros $\iota = 0^\circ$

Escola Brasil-Paraguai		$\alpha = 64^\circ$ $\beta = 70^\circ$ $H = 8,00$ metros $H' = 0$ $L = 10,40$ metros $\tau = 8^\circ$
Museu de Arte Moderna		$\alpha = \beta = 69^\circ$ $H = 17,00$ metros $H' = 0$ $L = 29,00$ metros $\tau = 0^\circ$
Ginásio Itanhaém		$\alpha = \beta = 57^\circ$ $H = 5,00$ metros $H' = 0$ $L = 30,00$ metros $\tau = 0^\circ$
II – EMPENA (E)		PARÂMETROS
Residência Benedito Levi		<u>Empena</u> : Idem Forma Máxima $cc = 0,45$ metros <u>Extrusão</u> : $e = 0,30$ metros $Ct = 12,75$ metros $Ccc = 12,15$ metros
Fábrica Duchen		<u>Empena</u> : $h = 1,15$ metros $h' = 0,85$ metros $dx = dx' = 0,95$ metros $\alpha = \beta = 105^\circ$ <u>Extrusão</u> : $e = 0,50$ metros $Ct = 300$ metros

Escola Brasil Paraguai		<u>Empena</u>: $h = 1$ pavimento $dx = 0,40$ metros $\alpha = 39^\circ$ <u>Extrusão</u>: $e = 0,50$ metros $Ct = 136,00$ metros
Museu de Arte Moderna		<u>Empena</u>: $h = 1$ pavimento $dx = dx' = 1,25$ metros $\alpha = \beta = 39^\circ$ <u>Extrusão</u>: $e = 0,50$ metros $Ct = 136,00$ metros
Ginásio Itanhaém		<u>Empena</u>: $h = 1$ pavimento $dx = dx' = 0,55$ metros $\alpha = \beta = 90^\circ$ <u>Extrusão</u>: $e = 0,40$ metros $Ct = 90,00$ metros
III – ELEMENTO ESTRUTURAL		PARÂMETROS
Laboratório de Estruturas		<u>Pórtico</u>: $h = 2,55$ metros $dx = dx' = 0,45$ metros $\alpha = \beta = 90^\circ$ <u>Extrusão</u>: $e = 0,20$ metros $esp = 3,60$ metros
Fábrica Duchen		<u>Pórtico</u>: Idem Empena – inserção de pilar: $dx1 = dx = dx' = 0,95$ metros $\alpha' = \alpha' (FM) = 90^\circ$ $\beta' = \alpha (FM) = 70^\circ$ <u>Extrusão</u>: $e = 0,50$ metros $esp = 10,00$ metros

Escola Brasil Paraguai		<u>Pórtico</u>: $h = 1,25$ metros $hh = 0,60$ metros $h' = 1,30$ metros $dx = 0,75$ metros $dx' = 0,20$ metros $\alpha = 26^\circ$ $\beta = 88^\circ$ $\gamma = 90^\circ$ $hb = 0,50$ metros $dx_b = 3,90$ metros $\iota = 16^\circ$ $b = a$ <u>Extrusão</u>: $e = 0,50$ metros $esp = 7,50$ metros
Museu de Arte Moderna		<u>Pórtico</u>: $h = 2,85$ metros $h' = 1,65$ metros $dx = dx' = 1,05$ metros $\alpha = 34^\circ$ $\beta = 73^\circ$ $hb = 1,65$ metros $dx_b = 9,55$ metros $\iota = 4^\circ$ $b = a$ <u>Extrusão</u>: $e = 0,50$ metros $esp = 10,50$ metros
Ginásio Itanhaém		<u>Pórtico</u>: Idem Empena $dx = dx' = 2,00$ metros <u>Extrusão</u>: $e = 0,40$ metros $esp = 11,50$ metros $Ccc = esp$
IV – CORPO INCLINADO		PARÂMETROS
Fábrica Duchen		<u>Corpo</u>: Contorno interno do pórtico <u>Extrusão</u>: $Cco = 300,00$ metros $cb = 300,00$ metros

V – CORPO ORTOGONAL	PARÂMETROS
	<u>Corpo 1:</u> $h = 1$ pavimento $dx = 0,50$ metros $dx' = 0$ $a1 = a1'$ <u>Corpo 2:</u> $h = 0$ $dx = dx' = 1,50$ metros <u>Extrusão:</u> $Cco1 = 12,75$ metros $Cco2 = 12,75$ metros
	<u>Corpo:</u> $h = 0$ $dx = dx' = 0$ $a = a'$ <u>Extrusão:</u> $Cco = 22,00$ metros
	<u>Corpo:</u> $h = 1$ pavimento $dx = dx' = 0$ $a1 = a1'$ <u>Extrusão:</u> $Cco = 136,00$ metros

Museu de Arte Moderna		<u>Corpo 1</u>: $h = 1$ pavimento $dx = dx' = 0$ $a = a'$ <u>Corpo 2</u>: $h = 0$ $dx = dx' = 6,45$ metros <u>Extrusão</u>: Cco1 = 136,00 metros Cco2 = 45,00 metros $\pi = 1,00$ metro
Ginásio Itanhaém		<u>Corpo 1</u>: $h = 0$ $dx = 0$ $dx' = 21,68$ metros <u>Corpo 2</u>: $h = 0$ $dx = dx' = 10,48$ metros <u>Corpo 3</u>: $h = 0$ $dx = 21,68$ metros $dx' = 0$ <u>Extrusão</u>: Cco1 = 35,00 metros $\pi = 55,00$ metros Cco2 = 12,00 metros $\pi = 45,00$ metros Cco 3 = 90,00 metros $\pi = 0$