

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO
PROGRAMA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
MESTRADO EM ARQUITETURA E URBANISMO
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO:TECNOLOGIA

**O USO DE ALGORITMOS E DE SISTEMAS PARAMÉTRICOS NA
CONCEPÇÃO ARQUITETÔNICA DE PEQUENAS RESIDÊNCIAS**

FÉLIX ALVES DA SILVA JÚNIOR

**Brasília- DF
Janeiro de 2011**

**PPG-FAU UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
MESTRADO EM ARQUITETURA E URBANISMO
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO:TECNOLOGIA**

**O USO DE ALGORITMOS E DE SISTEMAS PARAMÉTRICOS NA
CONCEPÇÃO ARQUITETÔNICA DE PEQUENAS RESIDÊNCIAS**

**FÉLIX ALVES DA SILVA JÚNIOR
ORIENTADOR:
PROF. DR. NEANDER FURTADO SILVA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo.

**Brasília- DF
Janeiro de 2011**

FOLHA DE APROVAÇÃO

Candidato: Félix Alves da Silva Júnior

Dissertação defendida e aprovada

Prof. Dr. Neander Furtado Silva

Faculdade de Arquitetura e Urbanismo – Universidade de Brasília

Prof. Dr. Marcos Thadeu Queiroz Magalhães

Faculdade de Arquitetura e Urbanismo – Universidade de Brasília

Prof. Dr. David Rodney Lionel Pennington

Faculdade de Comunicação – Universidade de Brasília

Brasília – DF

Fevereiro de 2011

*Dedico a **Ronie James Dio** e a todos os meus heróis que partiram, mas que ainda me acompanham através de suas músicas, que descansem em paz e que seu legado perdure pela eternidade...*

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha família em especial: à minha mãe Sônia sem a qual eu não seria quem sou; aos meus irmãos Samuel e Ismael pelo apoio e companheirismo; à Rita pelos anos de dedicação e carinho dispensados a minha família, em especial a atenção dada aos meus irmãos; à minha avó Celuta pelo exemplo de força e generosidade tão raros nos dias de hoje; à todas as minhas tias e tios, primos e primas pelas palavras de incentivo e ao apoio.

Aos meus amigos do *ThePlayerZ* em especial ao: Daniel, Eugênio, Rômulo, Israel, Sebastião. Devido às inúmeras tardes que passamos juntos jogando RPG, Magic, War, Poker, Dota, WoW, CS ou apenas trocando insultos gentis; pelas noites de Apolo ou Pizzarela; enfim, valeu por toda a diversão.

Ao Dyego que me recebeu em Brasília, na primeira vez em que aqui vim para fazer a seleção para o curso de Mestrado em Arquitetura e Urbanismo, e também pelas conversas sobre esta simpática cidade que é Brasília. Ao Evandro pelos trabalhos de arquitetura que desenvolvemos juntos. Ao Demócrito e a Rafaela, pelos três anos de vivência e aprendizado no escritório. À minha orientadora do trabalho final de graduação, Nícia Formiga pelo apoio no início dessa jornada.

Ao meu orientador Neander Furtado e a sua esposa Ecilamar Lima pelos dois anos de orientação e inspiração acadêmica que resultaram nesse trabalho.

A todos vocês, meu muito obrigado!

RESUMO

As ferramentas digitais passaram a ser integradas aos meios de produção do projeto de arquitetura, aumentando sua velocidade, precisão, controle, economia de recursos e, especialmente, nesta pesquisa, permitindo maior quantidade de opções em relação à edificação. Os softwares de modelagem e processos de manufatura controlados por computador mudaram os meios de produção industrial. Nas últimas décadas, essas tecnologias advindas originalmente da indústria naval, aeroespacial e automobilística, passaram a ser utilizadas pela indústria da construção civil. Isso resultou em modificação da forma como os espaços são projetados e construídos.

Apesar de atualmente estarem presentes em escolas e escritórios de arquitetura, poucos são os arquitetos que utilizam o computador no processo de projeção. Esse fato ocorre, em parte devido à falta de estudos que mostrem como as ferramentas computacionais podem ser utilizadas na concepção arquitetônica.

No sentido de preencher esta lacuna, desenvolvemos este trabalho, através do qual demonstramos como o computador pode ser incorporado ao processo criativo. Outra razão da escolha deste tema é que a projeção de casas de pequeno porte é a realidade da maioria dos escritórios de arquitetura do Brasil. Optamos pelo uso de três Sistemas Generativos: a Gramática da Forma, o Projeto Paramétrico e a Arquitetura Algorítmica no desenvolvimento de projeto arquitetônico de residência unifamiliar, com vistas a atender a população em massa. O motivo da escolha destes softwares se deve ao fato de que oferecem a possibilidade de opção dentro de grande número de soluções para o produto final, o que permite customizá-lo de acordo com as necessidades do usuário.

Partindo desta hipótese, foi possível demonstrar que a utilização desses métodos projetuais possibilita ao (a) arquiteto (a) alcançar variabilidade de formas e soluções arquitetônicas em um curto espaço de tempo. Verificamos também que o emprego dessas ferramentas traz vantagens como a possibilidade de se produzir arquiteturas que são adaptáveis e customizáveis a diversos cenários de projeto e necessidades do usuário. Este trabalho também serve de exemplo para os demais arquitetos de como integrar o computador ao processo de projeção arquitetônica.

Palavras Chaves: *Sistemas Generativos; Projeto Paramétrico; Gramáticas da Forma; Arquitetura Algorítmica; Variabilidade.*

ABSTRACT

The digital tools have become integrated into the means of production, increasing the speed, precision, control, economy of resources and, particularly in this research allowing larger amount of options in relation to design solutions. Modeling software and manufacturing processes controlled by computers have changed the means of industries to produce their products. In recent decades, these technologies developed in the naval, airspace and car industries began to be used by the construction industry. This resulted in changing in the way the spaces are designed and constructed.

Although currently being present in schools and firms of architecture there are few architects that use computer in the process of design. This fact occurs in part due to the lack of studies that show how computational tools can be used in architectural design.

Aiming to fill this gap, we developed this work to demonstrate how computers can be integrated into the creative process. Another reason for this study is that the design of small buildings is the reality of most architectural firms in Brazil. In this dissertation we chose to use three Generative systems the Shape Grammar, Parametric Design and Algorithmic Architecture in the development of the architectural design of single-family housing that could be used by Government program for low income population. The reason behind the choice of these software is the possibility of large number of design solutions for housing, allowing architects to customize them according to the user needs.

In this work we have verified our hypothesis that the use of these methods of design enables the architect to achieve large variability of shapes and architectural solutions in a short time. So the use of these tools has advantages such as the ability to produce architectures that are adaptable and customizable to different design scenarios for the user needs. For this reason, this work serves as an example for other architects of how to integrate the computer into the process of architectural design.

Keywords: Generative Systems; Parametric Design, Algorithmic Architecture, Shape Grammar, Variability.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. OBJETIVO.....	2
1.1.1. OBJETIVO GERAL.....	2
1.1.2. OBJETIVO ESPECÍFICO.....	2
1.2. PROBLEMA	3
1.3. HIPÓTESE.....	11
1.4. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	11
1.5. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	12
2. A QUESTÃO DA PRODUÇÃO EM SÉRIE DE HABITAÇÕES....	13
2.1. OS AGLOMERADOS URBANOS E O PROBLEMA DA HABITAÇÃO.....	13
2.2. SOLUCIONANDO O PROBLEMA HABITACIONAL.....	14
2.3. OS MEIOS COMPUTACIONAIS E UMA NOVA ABORDAGEM A PROBLEMÁTICA.....	20
3. SISTEMAS GENERATIVOS DE PROJETO	22
3.1. DEFINIÇÃO	22

3.2. O PAPEL DO ARQUITETO NO USO DOS SISTEMAS GENERATIVOS	24
3.3. USOS DOS SISTEMAS GENERATIVOS	26
4. GRAMÁTICAS DA FORMA.....	29
4.1. DEFINIÇÃO	29
4.2. TIPOS DE GRAMÁTICA DA FORMA.....	32
4.2.1. GRAMÁTICA DA FORMA ANALÍTICA	32
4.2.2. GRAMÁTICA SINTÉTICA.....	34
4.2.3. GRAMÁTICA COM MARCADORES.....	34
4.2.4. GRAMÁTICAS FÍSICO-VISUAIS	35
4.3. APLICAÇÕES DAS GRAMÁTICAS DA FORMA	37
5. PROJETO PARAMÉTRICO	40
5.1. CONCEITO	40
5.2. “BUILDING INFORMATION MODELING”– BIM E A PARAMETRIZAÇÃO	44
5.3. USO DO PROJETO PARAMÉTRICO.....	47
6. ARQUITETURA ALGORITÍMICA.....	48

6.1. DEFINIÇÃO	48
6.1.1. ALGORITMO.....	48
6.1.2. ARQUITETURA ALGORITIMICA.....	49
6.2. USO E APLICAÇÕES DA ARQUITETURA ALGORITIMICA.....	51
7. METODOLOGIA DE PESQUISA.....	53
7.1. LEVANTAMENTO TEÓRICO E PROBLEMATIZAÇÃO	53
7.2. O PROGRAMA DE NECESSIDADES	54
7.3. APLICANDO OS MÉTODOS.....	55
7.3.1. A GRAMÁTICA DA FORMA E O ALGORITMO	55
7.3.2. O PROCESSO E A PARAMETRIZAÇÃO	60
7.4. OS SOFTWARES E EQUIPAMENTOS UTILIZADOS.....	62
7.4.1. RHINOCEROS	63
7.4.2. GRASSHOPPER.....	65
7.4.3. EQUIPAMENTO UTILIZADO	68
8. O EXPERIMENTO E OS RESULTADOS	69
8.1. IMPLEMENTANDO A GRAMÁTICA DA FORMA	69

8.1.1. O VOCABULÁRIO FORMAL	69
8.1.2. AS REGRAS	70
8.1.2.1. DESCRIÇÃO DAS REGRAS DE COMBINAÇÃO DE CÔMODOS	72
8.1.3. A APLICAÇÃO DA GRAMÁTICA E AS DERIVAÇÕES	80
8.2. A PARAMETRIZAÇÃO.....	89
9. CONCLUSÃO E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS.....	100
10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	102
ANEXOS	107

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Pathernon grego.	6
Figura 2: Sistema construtivo do Panteão romana.	7
Figura 3: Sistema construtivo de uma catedral gótica com arcobotante.	7
Figura 4: Fachada original do Palácio de Cristal em Londres.	8
Figura 5: Museu Guggenheim de Bilbao, projetado por Frank Gehry.	9
Figura 6: Portable Colonial Cottage desenvolvida por Henry Manning.	14
Figura 7: Dymaxion House de Buckminster Fuller.	15
Figura 8: Casas Domino.	16
Figura 9: Proposta para vila operária em Tarten de Walter Gropius.	16
Figura 10: Planta Baixa da Vila Operária Gamboa, projeto de Gregori Warchavchik e Lucio Costa.	16
Figura 11: Fachadas e perspectivas da Vila Operária Gamboa, projeto de Gregori Warchavchik e Lucio Costa.	17
Figura 12: Perspectivas de duas tipologias para habitações para a vila Serra do navio projetado por Oswaldo Bratke.	18
Figura 13: Projeto Habitat de Moshe Safdie.	20
Figura 14: Abordagem tradicional de projeto.	24
Figura 15: Abordagem Generativa do projeto arquitetônico. Fonte: Alves (2011).	24
Figura 16: Greg Lynn Embriological Housing.	25
Figura 17: Exemplo de uma gramática da forma e da linguagem resultante das operações.	31
Figura 18: Gramática Analítica das praire houses de Frank Lloyd Wright.	33
Figura 19: Aplicação de gramática sintética.	34
Figura 20: Aplicação de marcadores em uma gramática da forma.	35
Figura 21: Gramática da forma dos componentes do sistema.	36
Figura 22: Fonte prototipagem dos elementos da gramática físico-visual e a construção dos protótipos.	37
Figura 23: Variação de soluções para o pátio superior geradas pela gramática da forma das casas da Malagueira, POR. Fonte: Duarte (2005).	39
Figura 24: Variações de um mesmo modelo paramétrico, diferenciado pela alteração dos parâmetros.	41

Figura 25: Variação paramétrica de colunas na arquitetura renascentista.	43
Figura 26: Diagrama explicativo de algoritmo.	48
Figura 27: Variabilidade formal obtida a partir da inserção de novos dados ao sistema.	50
Figura 28: Vocabulário de formas.	56
Figura 29: Família de relações I e II.	58
Figura 30: Família de relações III e IV.	59
Figura 31: Derivação II e extrusão tridimensional.	61
Figura 32: Modelo parametrizado da Derivação II.	62
Figura 33: Interface do Rhinoceros.	64
Figura 34: Componentes conectados através de seus inputs e outputs	65
Figura 35: Interface do Grasshopper	66
Figura 36: Componentes e parâmetros do Grasshopper	67
Figura 37: Partes de um componente	68
Figura 38: Diagrama de distribuição de funções e uso dos espaços.	71
Figura 39: Forma inicial da gramática.	72
Figura 40: Regra 1 (R1)	73
Figura 41: Regra 2 (R2)	73
Figura 42: Regra 3 (R3)	73
Figura 43: Regra 4 (R4)	74
Figura 44: Regra 5 (R5)	74
Figura 45: Regra 6 (R6)	74
Figura 46: Regra 7 (R7)	75
Figura 47: Regra 4 (R4)	75
Figura 48: Regra 9 (R9)	76
Figura 49: Regra 10 (R10)	76
Figura 50: Regra (R11)	76
Figura 51: Regra12 (R12)	77
Figura 52: regra 13 (R13).....	77
Figura 53: Regra 14 (R14)	78
Figura 54: Regra 15 (R15)	78
Figura 55: Regra 16 (R16)	78
Figura 56: Regra 17 (R17)	79

Figura 57: Regra 18 (R18)	79
Figura 58: Regra 19 (R19)	80
Figura 59: Regra 20 (R20)	80
Figura 60: Aplicação sucessiva de regras e Derivação I.....	82
Figura 61: Representação bidimensional da distribuição dos espaços e extrusão tridimensional.	82
Figura 62: Aplicação sucessiva de regras e Derivação IV	83
Figura 63: Representação bidimensional da distribuição dos espaços e extrusão tridimensional.	83
Figura 64: Aplicação sucessiva de regras e Derivação X	84
Figura 65: Representação bidimensional da distribuição dos espaços e extrusão tridimensional.	84
Figura 66: Aplicação sucessiva de regras e Derivação XVIII	85
Figura 67: Representação bidimensional da distribuição dos espaços e extrusão tridimensional.	85
Figura 68: Variação do tamanho dos cômodos com manutenção da área.	86
Figura 69: Universo de soluções de configurações de plantas baixa	87
Figura 70: Processo de geração da Derivação II	88
Figura 71: Representação bidimensional da distribuição dos espaços e extrusão tridimensional	88
Figura 72: Componentes utilizados na parametrização.	90
Figura 73: Cozinha parametrizada no Rhino e Grasshopper.	91
Figura 74: Parâmetros e Componentes que definem a Derivação II no Grasshopper.....	92
Figura 75: Resultado da parametrização da Derivação II no Rhinoceros.	93
Figura 76: Instâncias geradas a partir da variação da área e da inserção de novos elementos.....	95
O segundo tipo de resultados obtidos foi constituído por configurações em que os espaços foram distribuídos de forma que nem todos os cômodos estivessem no nível do chão. Esses resultados são demonstrados a seguir na Figura 77.	95
Figura 78: Instâncias geradas a partir da variação das alturas dos cômodos e do deslocamento em relação ao nível do chão.	96

Figura 79 : Diagrama de usos e funções	97
Figura 80: Instância 2	98
Figura 81: Instância 10	98
Figura 82: Variações volumétricas.	98

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Interface básica do Grasshopper.....	66
Tabela 2 – Visualização dos componentes no GH.....	67
Tabela 3 – Partes que compõe um componente.....	68
Tabela 4 – Vocabulário inicial de formas aplicadas na gramática da forma.	69
Tabela 5 – Formas novas a serem inseridas ao vocabulário inicial de formas. ..	70
Tabela 6 – Descrição dos parâmetros utilizados.	90
Tabela 7 – Esquema de cores dos cômodos.....	94

1. INTRODUÇÃO

Os computadores, atualmente, estão presentes na maior parte dos escritórios e escolas de arquitetura. Apesar da ampla presença dessas ferramentas nos ambientes de projeto, elas não têm tido seu potencial completamente explorado pelos arquitetos. Isso tem restringido o uso desses aplicativos apenas para executar tarefas de representação e documentação de seus projetos arquitetônicos. Semelhantemente a maioria dos arquitetos tem limitado o uso desses aplicativos apenas às tarefas de representação e documentação de seus projetos arquitetônicos. No entanto, poderia usá-los para modelar tridimensionalmente em escala real o espaço projetado, fazer percursos interativos, fazer cálculos de iluminação global, simular situações de conforto ambiental, emitir quantitativos de materiais, e etc. Poderia também gerar novas formas e customizar as soluções a partir de um programa de necessidades utilizando a gramática da forma, o projeto paramétrico e a arquitetura algorítmica.

A falta de conhecimento relativo aos métodos de projeção que incorporam as ferramentas digitais ao processo de projeto e a ausência de pesquisas que explorem o potencial do emprego dessas tecnologias dificulta a integração efetiva do computador nas práticas projetuais. O uso desses métodos tem ocorrido com mais frequência no processo de projeção de programas de arquitetura mais complexos. Nas obras que exigem grandes quantidades de informações, têm sido utilizados recursos computacionais para viabilizar o processo de concepção, desenvolvimento e construção.

Poucas são as aplicações de métodos projetuais computacionais em obras de pequeno porte. Não obstante, é importante observar que as obras de menor porte representam a maior parte da produção da maioria dos escritórios de arquitetura. Nesse contexto há que se considerar as contribuições e possibilidades que as ferramentas computacionais oferecem para a prática de projeto.

Faz-se necessário estudar a integração dessas tecnologias na concepção de programas arquitetônicos mais simples como forma de explorar as vantagens que a inserção do computador no processo projetual permite. Por exemplo, é possível customizar, isto é, projetar atendendo as necessidades específicas de cada usuário,

gerando identidade e referência mesmo se tratando de um conjunto habitacional popular. Outro resultado dessa customização é que se mantém ou se reduz os custos de construção da edificação em comparação com a industrialização serializada nesta área.

É no contexto dessas aplicações que propomos essa dissertação para verificar como a gramática da forma, arquitetura paramétrica e algorítmica beneficiam a projeção de pequenas edificações, particularmente no caso de uma residência unifamiliar. Concomitantemente, esta pesquisa demonstra como a inserção do computador no processo de projeto permite ao arquiteto modificar a maneira de conceber a arquitetura.

1.1. OBJETIVO

1.1.1. OBJETIVO GERAL

O objetivo principal deste trabalho é desenvolver um método de projeção baseado na Gramática da Forma, no Projeto Paramétrico e na Arquitetura Algorítmica, que permita explorar diversas possibilidades formais para o programa de necessidades de uma Habitação de Interesse Social que possa ser facilmente modificada e adaptada.

1.1.2. OBJETIVO ESPECÍFICO

A partir do objetivo principal, estabeleceram-se os seguintes objetivos específicos:

- a) Servir de referência para a utilização desses métodos computacionais na projeção arquitetônica de tipologias de menor porte;
- b) Demonstrar uma nova abordagem para a questão da habitação de baixo custo baseada em processos projetuais computacionais.

1.2. PROBLEMA

A grande parte dos arquitetos utiliza as ferramentas computacionais apenas após a definição do projeto para fazer as representações bidimensionais do resultado obtido. Depois do trabalho pronto elabora uma perspectiva à mão ou através de algum software de modelagem para apresentá-lo ao cliente. Quando faz uso de métodos projetuais computacionais tais como a gramática da forma, arquitetura paramétrica e/ou algorítmica, tende a fazê-lo em projetos de grande complexidade.

Desse modo são poucos os profissionais que aplicam esses dispositivos tecnológicos no processo de criação de pequenas arquiteturas¹, tais como uma unidade habitacional. A produção soluções de habitações que possam ser adaptadas a diversas necessidades tem sido objeto de estudo de muitos arquitetos durante os séculos XIX e XX.

As experiências modernistas se concentraram na produção de soluções projetivas universais sob o pretexto de diminuir os custos de produção. A aplicação dos conceitos da massificação de soluções acabou por resultar em edificações com pouca variabilidade formal devido à repetição excessiva de uma mesma solução. Além dos trabalhos baseados na produção em série de casas, foram realizadas experiências com a pré-fabricação e a modulação de elementos construtivos. Esses trabalhos foram realizados para atender a demanda por variabilidade de soluções arquitetônicas.

Nas últimas três décadas a maioria dos arquitetos, gradativamente, tem substituído o uso de ferramentas manuais por digitais. Apesar dos computadores estarem presentes nos escritórios desde a década de 1980, o potencial deles não tem sido completamente explorado. Inicialmente eles haviam sido usados para replicar a prancheta física automatizando o desenho bidimensional.

¹ O termo *Pequenas Arquiteturas* é utilizado aqui para designar projetos de arquitetura com programas de necessidades mais simples como o de uma residência.

O não uso dos demais recursos computacionais possibilitados pelo uso da Gramática da Forma, da Arquitetura Paramétrica e Algorítmica tem ocorrido devido a falta de conhecimento das potencialidades das ferramentas computacionais da parte dos estudantes e profissionais. Essa lacuna limita a computação ao uso de softwares ao invés de se adotar um conjunto de procedimentos coerentes para solucionar um problema arquitetônico (TERZIDIS, 2006, p. 40).

É preciso verificar como o uso dessas ferramentas influencia a maneira de projetar tipologias menores como residências unifamiliares. Além dos benefícios que oferecem existe a possibilidade de atingir a grande maioria dos projetos, pois a maior parte dos profissionais trabalha com obras de pequeno porte. Por esta razão, esta pesquisa tem por objeto o estudo das citadas abordagens auxiliadas por computador de concepção de residências, prédios de comércio e serviços, intervenções em edificações existentes, etc.

Apenas através do estudo dessas ferramentas é que seremos capazes de compreender como esses métodos afetam a maneira de conceber, desenvolver e construir os espaços. Ao mesmo tempo identificaremos as razões que permitem desenvolver práticas projetuais condizentes com as tecnologias disponíveis.

As tecnologias digitais têm provocado mudanças nas práticas arquitetônicas que poucos poderiam prever há pouco mais de duas décadas atrás. No campo conceitual topologias volumétricas virtuais, espaços geométricos não euclidianos, sistemas dinâmicos e cinéticos, e algoritmos genéticos têm dado suporte às novas geometrias arquitetônicas (KOLAREVIC, 2003, p. 3).

O uso de ferramentas computacionais na arquitetura e na construção induz a uma nova abordagem do processo de projeção. A utilização da fabricação digital e da prototipagem rápida permite uma maior proximidade entre o arquiteto e o canteiro de obras. Isto ocorre devido ao fato de que por meio dessas técnicas o (a) profissional tem a oportunidade de produzir modelos físicos através de impressoras tridimensionais e/ou cortadoras a laser, ao mesmo tempo em que pode testar materiais. Fazendo, assim, o (a) profissional usa das mesmas técnicas e materiais utilizados na construção da obra (SASS e RIVKA, 2006, p. 333).

O avanço dos meios projetuais e de construção tem contribuído para que novas formas de projetar em arquitetura surgissem, resultando em métodos que aproveitam melhor os recursos computacionais. A aplicação desses novos processos leva a novas formas de conceber os espaços propiciando novas linguagens arquitetônicas.

O uso de processos projetuais como a Gramática da Forma, o Projeto Paramétrico e a Arquitetura Algorítmica modificam o modo de projetar o objeto arquitetônico. Nessas abordagens o ato projetual tem como ponto de partida a determinação de parâmetros que explicitam princípios geradores de soluções. Ao invés de se definir formas arbitrariamente são estabelecidos os mecanismos generativos de formas a serem usados a partir de aspectos relacionados com distâncias, alturas, proporções, dimensões, volumes, situação geográfica, condicionantes financeiras e etc.

A gramática da forma é um método de estrutura de dados que possibilita a descrição de uma determinada linguagem formal através da explicitação das regras e do alfabeto que a compõe. Esse formalismo permite ainda a geração de soluções arquitetônicas idênticas a precedentes bem como de soluções originais que correspondam à linguagem definida (CELANI, CYPRIANO, *et al.*, 2006, p. 2).

A abordagem paramétrica é constituída de um modelo projetual, no qual a arquitetura surge a partir da definição dos parâmetros e das inter-relações entre seus componentes. Dessa forma a alteração, inserção, ou remoção de um dos parâmetros resulta na modificação de todo o objeto arquitetônico (SILVA e AMORIM, 2010).

Na arquitetura algorítmica, o programa de necessidades² é tido como um problema a ser solucionado. Partindo-se desse princípio passa-se a estabelecer um conjunto de procedimentos lógicos que irão resultar em soluções que atendam às solicitações do programa. O conjunto de etapas estabelecidas constitui o algoritmo e os resultados obtidos correspondem ao projeto de arquitetura (TERZIDIS, 2006, p. 15).

² O termo *Programa de Necessidades* em arquitetura se refere a um tipo de uso ou atividade a ser desenvolvida no espaço a ser construído.

A arquitetura, ao longo de sua história, além de expressar os aspectos culturais e filosóficos de cada período, expressa ainda o patamar tecnológico existente. Na antiguidade, os templos gregos constituíam-se em grandes edificações sustentadas por colunas de pedras trabalhadas que possuíam pequenos vãos entre si. O espaçamento entre as colunas bem como a sua dimensão e a forma resultante da composição dos elementos que caracterizam a arquitetura grega são advindos também das técnicas construtivas da época (conforme apresentadas na Figura 1, a seguir).



Figura 1: Páternon grego.

Fonte: <http://arquitetandoteoria.blogspot.com/2010/09/avery-center-hall-e-o-pathernon.html>

No império romano o surgimento do arco e das cúpulas possibilitou a construção de edificações com vãos maiores do que aqueles construídos até então. O desenvolvimento dessa técnica, bem como a mudança na visão de mundo do homem desse período, teve impacto na arquitetura romana que passou a integrar obras como o Coliseu Romano e o Panteão (conforme vemos na Figura 2, a seguir).

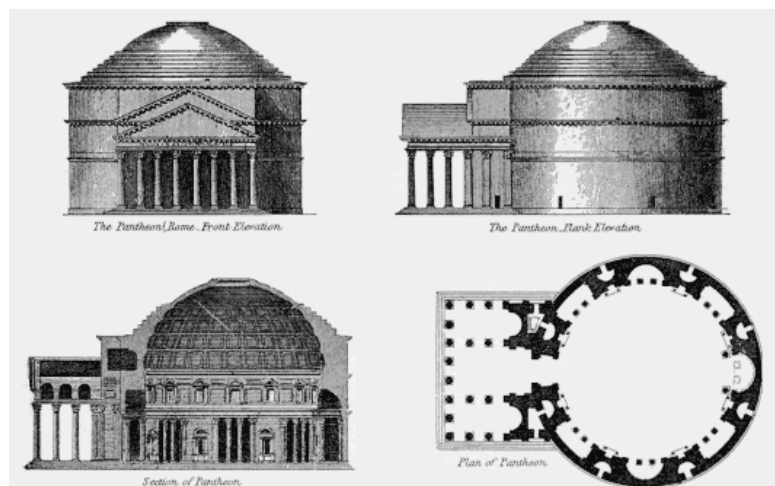


Figura 2: Sistema construtivo do Panteão romana.
 Fonte: <http://historiadaarteguitiriz.blogspot.com/2010/10/panteon-de-roma.html>

Durante o período gótico o aparecimento do arcobotante constituiu um avanço técnico considerável na arquitetura. Considerando a perspectiva da técnica construtiva o desenvolvimento desse recurso permitiu que as grandes catedrais góticas na Europa fossem construídas. Esses recursos permitiam executar abóbodas ogivais, paredes mais esbeltas e mais altas e com janelas mais amplas (conforme vemos na Figura 3, a seguir).

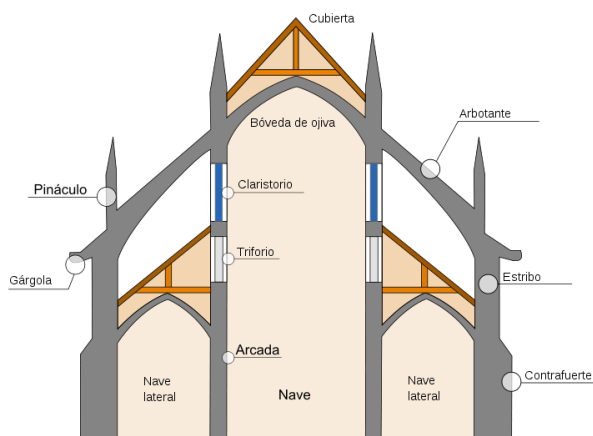


Figura 3: Sistema construtivo de uma catedral gótica com arcobotante.
 Fonte: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Catedral_g%C3%B3tica_Esquema_ES.svg

No final do século XVIII, na Revolução Industrial, o uso de técnicas de metalurgia e de estruturas metálicas permitiu construir vãos maiores e colunas mais esbeltas. Essa tipologia contribuiu para a definição de uma nova linguagem arquitetônica que expressava a capacidade tecnológica da época e também os aspectos referentes ao ideário industrial da época dominada pela visão mecanicista

do mundo. Essa arquitetura era caracterizada pela leveza das estruturas e uso de grandes aberturas fechadas com vitrais, como demonstrado na Figura 4, a seguir.

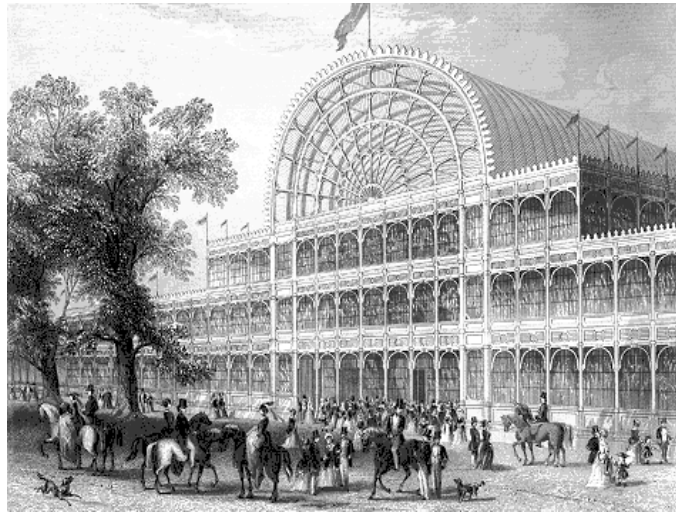


Figura 4: Fachada original do Palácio de Cristal em Londres.
Fonte: http://en.wikipedia.org/wiki/File:Crystal_Palace.PNG

Através das imagens anteriores (figuras de 3 a 6), podemos observar que o desenvolvimento de novas formas de construção, assim como a utilização de novos materiais, sempre teve papel significativo no surgimento de novas linguagens arquitetônicas (FRAMPTON, 2003, p. 341). Através das tipologias apresentadas nas imagens citadas é possível identificar a que período histórico cada um dos exemplos pertence, assim como identificar o desenvolvimento tecnológico que possibilitou a construção deles.

O palácio de Cristal (Figura 4, p. 8) de Joseph Paxton foi uma edificação ousada para seu tempo, consistindo em exemplo do espírito tecnológico da Revolução Industrial. O museu Guggenheim de Frank Gehry em Bilbao (apresentado na Figura 5, a seguir) pode ser considerado o palácio de cristal contemporâneo. Isto ocorre porque essa edificação expressa um novo tipo de arquitetura composto de formas complexas que o uso dos novos recursos tecnológicos possibilita projetar e construir (KOLAREVIC, 2003, p. 3).



Figura 5: Museu Guggenheim de Bilbao, projetado por Frank Gehry.
Fonte: http://www.greatbuildings.com/cgi-bin/gbi.cgi/Guggenheim_Bilbao.html/cid_bilbao_003.html

Os temas levantados anteriormente se referem basicamente às formas como as novas abordagens projetuais influenciam a prática arquitetônica. Escolheu-se como objeto deste estudo o processo de projeção de pequenas edificações, ou seja, habitação unifamiliar. Este tem se configurado no problema principal deste trabalho, uma vez que são poucos os exemplos de projetos nos quais se utilizou essas abordagens no âmbito de projeto de pequeno porte.

Outro aspecto diz respeito ao fato de que o uso desses novos métodos de projeção traz uma contribuição efetiva para o problema da produção de habitação em série. Uma vez que a utilização dessas sistemáticas de projeto, baseadas em ferramentas computacionais, possibilitam a obtenção de soluções arquitetônicas variadas e adaptáveis a inúmeras situações de projeto.

O emprego desses processos computacionais, no fazer arquitetônico, permite que se identifiquem algumas mudanças importantes pertinentes a produção do espaço edificado. Entre as principais poderiam ser citadas:

- a) A mudança na relação entre o arquiteto e o projeto. O uso dessas ferramentas produzem mudanças no processo de projeção, que, por sua vez, demandam novas posturas por parte do arquiteto. O processo de concepção deixa de ter enfoque na forma, passando a ser concentrado no processo, ou seja, na definição de relações e parâmetros que resultarão em soluções formais;

- b) Os processos digitais de projeção possibilitam que o(a) arquiteto(a) tenha de forma clara as razões que o(a) levaram a uma dada solução formal. Isso ocorre devido ao fato de que o uso da computação exige uma abordagem que explicita o conjunto de relações que definem o projeto (TERZIDIS, 2006, p. 39);
- c) O uso da parametrização permite maior controle sobre o objeto concebido. Através do controle de seus parâmetros, as formas são facilmente manipuladas. Ao se alterar uma variável todo o projeto é modificado, isto resulta em consistência e coerência automáticas que não seriam possíveis através do uso dos meios tradicionais;
- d) A geração da possibilidade de customização projetual passa a existir através do uso, pelo (a) arquiteto (a), da capacidade de processamento dos computadores. Através do emprego de sistemas generativos³ é possível que um único arquiteto obtenha muitas soluções arquiteturais para uma mesma tipologia. Dessa forma a tarefa final será verificar quais são as soluções mais adequadas para o problema proposto.

Ao longo desta pesquisa foram levantados os seguintes questionamentos:

- a) Como o uso da Arquitetura Algorítmica, do Projeto Paramétrico e da Gramática da Forma influencia e beneficia a concepção de pequenas residências?
- b) Quais são as conseqüências dos processos de projeção implementados através de ferramentas digitais sobre as possibilidades de escolhas em relação às soluções arquitetônicas?
- c) Quais são as vantagens proporcionadas por esses métodos ao processo e ao produto projetuais?

No sentido de responder às perguntas acima, este trabalho tem sido desenvolvido com o objetivo de investigar as vantagens decorrentes do uso dessas tecnologias no processo de projeto de arquitetura. Isto será feito usando um enfoque direcionado para um programa de necessidades de uma edificação de pequeno porte (no caso, uma unidade habitacional unifamiliar). Temos por objetivo verificar qual é a contribuição dessas ferramentas para a formulação projetual de obras de pequeno porte. Principalmente quando se considera trabalhos de menor porte, pois constituem a realidade da maior parte dos escritórios de arquitetura.

Esta pesquisa se faz necessária, pois aponta de que forma esses instrumentos se inserem nos processos projetuais e como alteram a maneira como

³ Os Sistemas Generativos serão devidamente conceituados no Capítulo 3.

arquitetos lidam com os problemas de projeto. É neste contexto que apresentamos este estudo para verificar como o computador pode ser inserido no processo projetual. Ao mesmo tempo tentamos explorar um uso mais efetivo desses dispositivos digitais.

1.3. HIPÓTESE

O uso da Gramática da Forma, da Arquitetura Algorítmica e do Projeto Paramétrico consiste em contribuição significativa para o projeto de pequenas residências. Isto ocorre porque que estes recursos possibilitam a obtenção de um grande número de soluções dentre as quais algumas poderão ser escolhidas pelo usuário final na definição do projeto, tendo por base um determinado conjunto de regras e parâmetros definidos previamente pelo (a) arquiteto (a). Estas abordagens permitem também a manipulação dos resultados obtidos a partir da inserção, da remoção e/ou alteração de variáveis.

1.4. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Na metodologia aplicada no desenvolvimento desta pesquisa destacamos as seguintes etapas:

- a) Levantamento dos métodos projetuais, para este trabalho dos sistemas generativos, que integrem ferramentas computacionais ao processo de projeção;
- b) Escolha dos métodos a serem aplicados (Gramática da Forma, Projeto Paramétrico e Arquitetura Algorítmica);
- c) Definição de um programa arquitetônico de pequeno porte no caso, uma residência unifamiliar;
- d) Escolha de software gráficos através dos quais seja possível implementar os métodos propostos;
- e) Aplicação dos métodos projetuais selecionados e posterior análise dos resultados obtidos.
- f) Conseguir variabilidade de composições de plantas baixas a partir de um programa de necessidades simples através do uso da gramática da forma e da arquitetura algorítmica;
- g) Selecionar, dentre as soluções de plantas baixas encontradas, a mais adequada e parametrizá-la;

- h) Realizar estudos volumétricos por meio da variação paramétrica da configuração de planta baixa escolhida.

1.5. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Este trabalho foi organizado da seguinte forma: oito capítulos, além da seção de referências bibliográficas e anexos.

O Capítulo I contém uma apresentação geral do tema estudado, a problemática trabalhada, a hipótese, os objetivos e uma visão geral dos procedimentos metodológicos utilizados.

O Capítulo II apresenta os conceitos dos Sistemas Generativos em arquitetura, descrevendo o contexto dessas metodologias nas práticas arquitetônicas atuais. Neste capítulo são apresentados alguns tipos de sistemas generativos e aqueles que foram utilizados neste trabalho.

No Capítulo III são apresentados os conceitos de Gramática da Forma bem como sua aplicação em arquitetura e no trabalho desenvolvido.

No Capítulo IV discutiu-se os conceitos de projeto paramétrico, da parametrização e do BIM, ao mesmo tempo em que são apontadas algumas questões referentes à implementação desse método nessa dissertação.

O Capítulo V define algoritmo e arquitetura algorítmica, mostrando como esse método consiste em uma nova abordagem nos processos de projeção.

O Capítulo VI descreve o método utilizado para a verificação da hipótese deste trabalho.

O Capítulo VII apresenta o experimento desenvolvido, os resultados alcançados bem como a discussão dos mesmos.

Por fim, no Capítulo VIII apresentamos as conclusões e os possíveis desdobramentos futuros.

Quanto aos anexos, seus conteúdos contêm as derivações de soluções de plantas baixas que não constam no corpo do texto principal.

2. A QUESTÃO DA PRODUÇÃO EM SÉRIE DE HABITAÇÕES

2.1. OS AGLOMERADOS URBANOS E O PROBLEMA DA HABITAÇÃO

O aumento da concentração populacional nas cidades é considerado um dos grandes feitos da humanidade no século XX. A civilização atual se caracteriza por ter a maior parcela da sua população concentrada em grandes centros urbanos. A revolução industrial além das inovações técnicas nos modos de produção deu início ao processo de urbanização das cidades (GOITIA, 2003, p. 162).

A urbanização iniciada no século XIX e consolidada no século XX transformou as áreas urbanas no palco das interações sociais além de ratificar o modo de vida urbano como o eleito pela sociedade. Mesmo em locais onde esse processo não é tão consolidado e que possuem caráter essencialmente rural é possível notar a presença de comportamentos urbanos (WIRTH, 2005).

Esse processo ocorreu inicialmente nas grandes potências do mundo ocidental da época (Inglaterra, França, Alemanha, Áustria, Estados Unidos e Rússia) e depois se espalhou para os países periféricos. A expansão e ocupação das cidades foram impulsionadas pela revolução industrial. Durante esse crescimento não foram previstos locais destinados a abrigar os migrantes do campo que se deslocavam para as cidades à procura de trabalho. Isso resultou na superlotação de cortiços, a falta de higiene, a poluição ambiental e a degradação social (GUIMARÃES, 2004, p. 59).

Essa desordem ocorrida no início da ocupação dos ambientes urbanos resultou nos problemas sociais enfrentados até hoje na maioria das cidades do planeta. Isto tem ocorrido principalmente no que se refere à produção de locais adequados para acomodar as camadas menos favorecidas da sociedade, que comumente ocupam áreas urbanas impróprias para a moradia e de forma desordenada.

2.2. SOLUCIONANDO O PROBLEMA HABITACIONAL

O agravamento do problema da falta de moradia para a população menos favorecida nos aglomerados urbanos resultou no surgimento de diversas tentativas de solucionar a questão habitacional nas cidades. No início do século XX passou-se a desenvolver pesquisas e experiências no sentido de se desenvolver um método de se produzir um grande número de habitações a um baixo custo.

Nesse contexto, os construtores da época passaram a tratar a unidade habitacional como um produto a ser industrializado. É neste momento que começam a surgir as experiências com casas moduladas e construídas com elementos pré-fabricados. No intuito de solucionar o problema habitacional dos trabalhadores urbanos, a *Portable Colonial Cottage* (1833-40) foi proposta pelo arquiteto inglês H. John Manning, a qual é tida como uma das primeiras experiências com pré-fabricação de habitações. O sistema consistia em um conjunto de painéis e vigas de madeira que podiam ser montados e combinados de diversas formas, na Figura 6 (BERGDOLL e CHRISTENSEN, 2008).

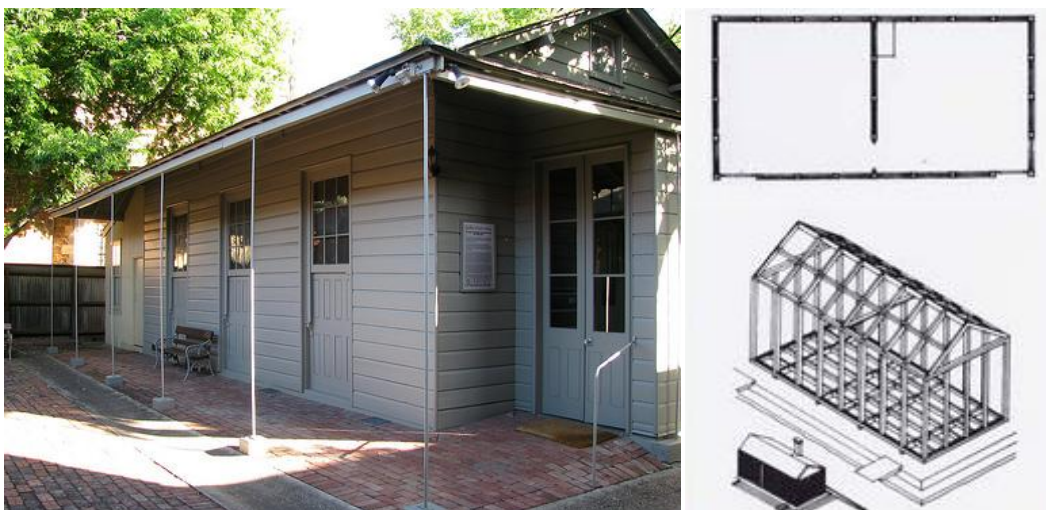


Figura 6: Portable Colonial Cottage desenvolvida por Henry Manning.

Fonte: <http://www.housing.com/categories/homes/history-prefabricated-home/manning-portable-colonial-cottage-emigrants-1833-1840.html#2>

Seguindo a mesma lógica aplicada por Henry Manning em suas casas, podemos citar a proposta denominada Dymaxion House de Buckminster Fuller (1923), que consistia de casas feitas de alumínio, as quais foram desenvolvidas para serem construídas em série (Figura 7). O projeto intitulado American Motor Home oferecia quatorze variações a partir de seus módulos. Devemos citar o *kit* de

construção desenvolvido nos Estados Unidos por Walter Gropius e Konrad Wachsmann (1923) que possibilitava a construção de blocos de apartamentos altamente padronizados (COBBERS e JAHN, 2010).



Figura 7: Dymaxion House de Buckminster Fuller.
Fonte: <http://www.hfmgv.org/museum/dymaxion.aspx>

Grandes nomes da arquitetura têm dedicado tempo para desenvolver soluções arquitetônicas com o intuito de solucionar o problema da construção de casas em larga escala. Podemos mencionar alguns exemplos significativos como: as casas Domino em Pessac (1926-29) propostas por Le Corbusier, o conjunto habitacional desenvolvido para Torton (1926-28) desenvolvido por Walter Gropius, ou ainda as casas *Usonian* de Frank Lloyd Wright (DUARTE, 2005, p. 347). Os trabalhos mencionados nas Figura 8 e Figura 9 demonstram modelos habitacionais que fazem uso dos processos industriais de produção em massa, com o objetivo de reduzir custos e diminuir o tempo de construção.

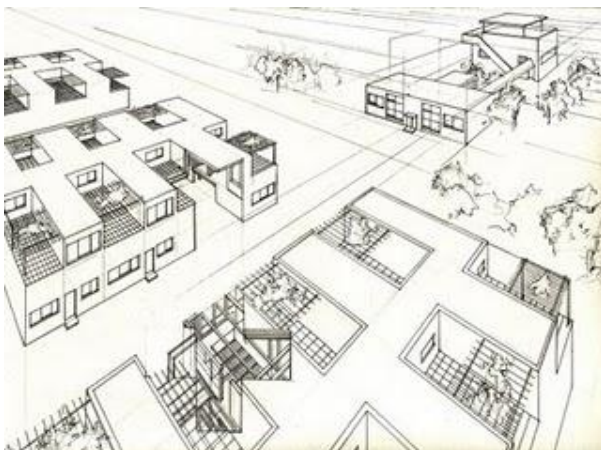


Figura 8: Casas Domino.
 Fonte: <http://www.google.com.br/images>

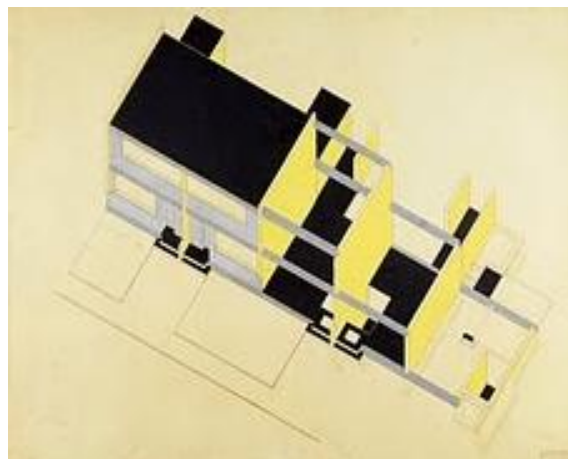


Figura 9: Proposta para vila operária em Tarten de Walter Gropius.
 Fonte: <http://sahinternational.blogspot.com/2008/09/louis-i-kahn-study-tour-residential.html>

No Brasil podemos citar duas propostas desenvolvidas para atender as demandas por habitações de baixo custo. A Vila operária da Gamboa projetada por Gregori Warchavchik e Lucio Costa (Rio de Janeiro, 1933) (Figura 10 e Figura 11) e as casas projetadas por Oswaldo Bratke para a Serra do Navio no Amapá (1955).



Figura 10: Planta Baixa da Vila Operária Gamboa, projeto de Gregori Warchavchik e Lucio Costa.
 Fonte: <http://dspace.uniritter.edu.br/handle/123456789/314>

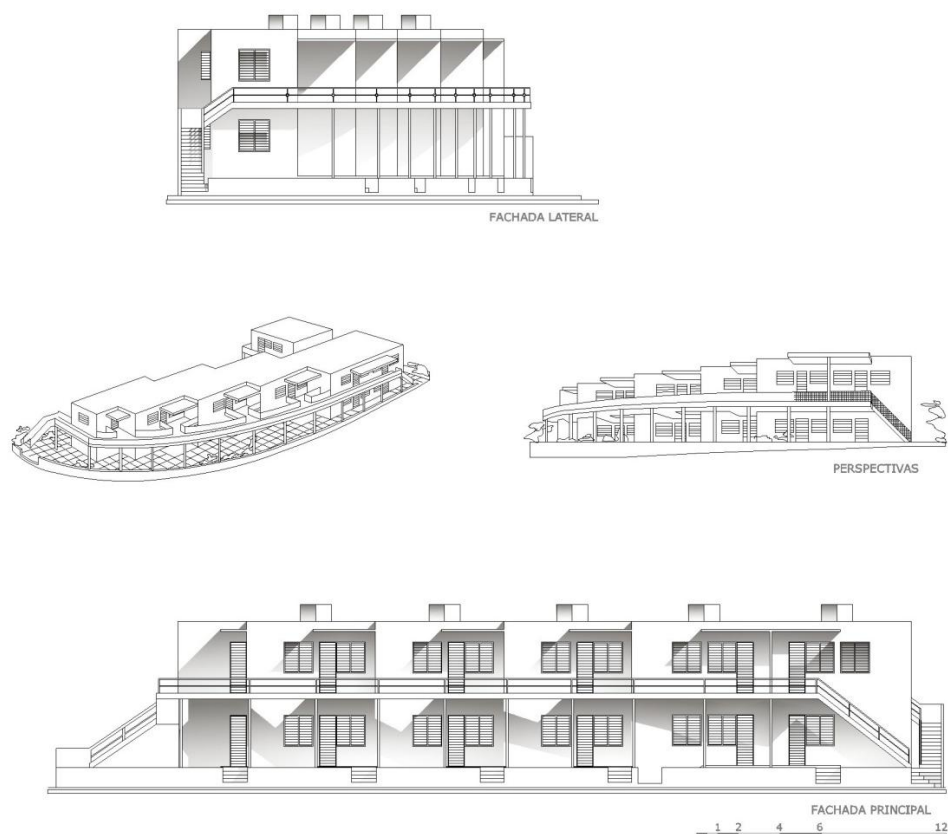


Figura 11: Fachadas e perspectivas da Vila Operária Gamboa, projeto de Gregori Warchavchik e Lucio Costa. Fonte: <http://dspace.uniritter.edu.br/handle/123456789/314>.

A proposta da Vila Operária de Gamboa foi desenvolvida pelo arquiteto Lúcio Costa e construída por Gregori Warchavchik, a pedido do empresário Fábio Carneiro de Mendonça, no início da década de 1930. O conjunto foi projetado para servir de moradia para a classe trabalhadora da zona portuária do Rio de Janeiro. O projeto teve fortes influências das habitações de pequeno porte desenvolvidas na Europa por Ernst May e Walter Gropius, e dos projetos de Le Corbusier, com formas semelhantes às de um navio, procedimento característico da chamada “estética da máquina” (MUCHINELLI, 2009, p. 9).

Além da vila operária de Lúcio Costa outro trabalho significativo foi o das casas projetadas por Oswaldo Bratke para os trabalhadores da empresa de mineração INCOMI que se instalaram na Serra do Navio no Amapá. As unidades habitacionais foram concebidas tendo como partido a economia de infra-estrutura, rapidez de execução, fácil manutenção, disponibilidade de recursos na região e os aspectos ambientais locais. O sistema construtivo era composto por perfis e painéis de madeira modulados que serviam para sustentação e vedação das residências.

Além das peças de madeira todo o mobiliário e as esquadrias foram industrializados de modo que se obtivesse rapidez e variabilidade nas moradias finais (Figura 12).

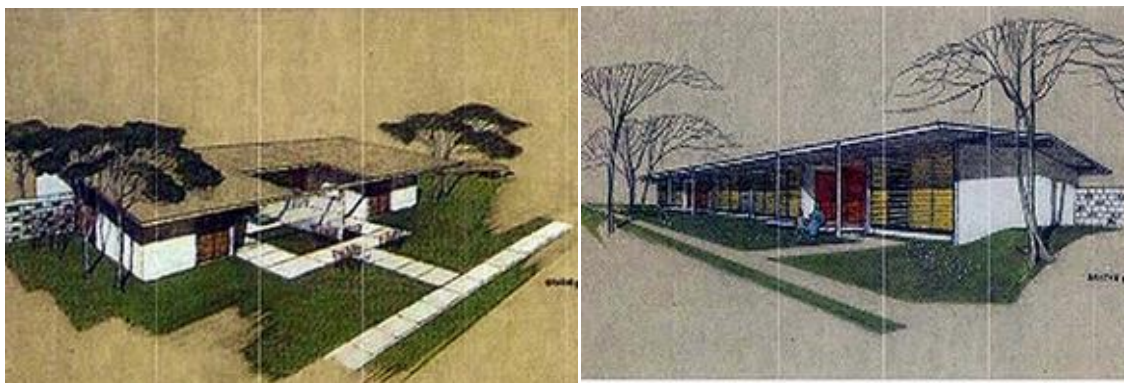


Figura 12: Perspectivas de duas tipologias para habitações para a vila Serra do navio projetado por Oswaldo Bratke.

Fonte: <http://vi.sualize.us/view/248191b9f617c9da26d5cc177316055d/>

Sobre o sistema construtivo adotado na vila da Serra do navio o arquiteto Luis Espallargas descreveu da seguinte forma a técnica adotada:

“Os diversos tipos de residência dedicados às categorias profissionais são executados em estrutura de madeira, único material abundante, segundo uma técnica de pórticos longitudinais, com nível variável, que ligam diretamente as terças à peça horizontal do pórtico e, assim, dispensa tesouras de telhado. Trata-se de uma técnica difundida para construir programas semelhantes em loteamentos de classe média na costa oeste americana (...)(ESPALLARGAS, 2009, p. 59).”

No entanto, a maioria das propostas de unidades habitacionais, desenvolvidas pelos arquitetos modernos, não possuíam preocupação com a variação de soluções, mas com a implementação dos paradigmas da era Industrial. Utilizaram o conceito da produção em série, da solução universal, tendo em vista a redução dos custos, a rapidez na construção, etc (DUARTE, 2005, p. 347).

Os preceitos modernos do racionalismo e da produção em série somados a aplicação da pré-fabricação dos componentes da residência, inicialmente foram tidos como a estratégia ideal para resolver o problema do *deficit* habitacional tanto nos países desenvolvidos quanto nos países subdesenvolvidos. Isso ocorreu por que essas práticas permitiam a produção de um grande número de unidades habitacionais a um baixo custo e em um curto espaço de tempo.

Apesar da rapidez na construção dessas unidades e do baixo custo de construção, essas alternativas apresentavam a desvantagem de geralmente serem repetidas em larga escala. Desse modo essas soluções nem sempre atendem de forma satisfatória às necessidades específicas dos usuários e aos aspectos geográficos.

A construção de habitações, sob os princípios modernos, resultava na repetição de uma única solução de projeto. Tornando esse tipo de intervenção alvo de críticas referentes à qualidade espacial desses ambientes. Estes se mostravam problemáticos devido à monotonia causada pela excessiva repetição, à falta de pontos de referência, a ausência de identidade própria, a pouca aceitação por parte dos futuros usuários, entre outros problemas (BLAKE, 1977, p. 123).

No sentido de minimizar os problemas da falta de variabilidade de soluções apresentadas pelas propostas modernas alguns arquitetos nos anos sessenta propuseram sistemas construtivos baseados na pré-fabricação de componentes de construção. Isso permitia que tais componentes pudessem ser adaptáveis a diversas situações projetuais. Entre essas propostas deve-se citar o *Habitat* que foi um sistema desenvolvido pelo arquiteto canadense Moshe Safdie. Este projeto combinava módulos que poderiam ser encaixadas entre si de várias maneiras resultando em edificações com uma volumetria mais diversificada do que as propostas tradicionais da maioria dos arquitetos modernos, como podemos ver na Figura 13, a seguir (BLAKE, 1977, p. 125).



Figura 13: Projeto Habitat de Moshe Safdie.

Fonte:http://129.187.114.214/muc-syd/referate_mucsyd/prefabricaion%20in%20the%20building%20industry.pdf

Apesar de conseguir resultados formais diversificados e atender a demanda por variabilidade, o sistema não se mostrou financeiramente viável. Isso ocorreu, em decorrência de dificuldades para garantir que os módulos fossem construídos de forma precisa o que dificultava a montagem das edificações.

2.3. OS MEIOS COMPUTACIONAIS E UMA NOVA ABORDAGEM A PROBLEMÁTICA

A incorporação das ferramentas computacionais no projeto e na construção de casas populares tem aberto novas fronteiras para pesquisa e novas abordagens arquitetônicas sobre o tema. O uso desses instrumentos tecnológicos tem levado a uma mudança de paradigmas, onde se parte da padronização em massa da revolução industrial para a personalização em massa.

As tecnologias digitais permitem que se produzam edifícios com componentes individualizados com os mesmos custos (em alguns casos até menores) do que um edifício executado com elementos padronizados. Este conceito implica na ruptura do paradigma moderno de que a produção de elementos em série

é a única forma de prover habitação para as massas. Isso resulta no surgimento de um novo cenário em que as soluções deixam de ser universais e passam a ser específicas a cada programa ou indivíduo sem o incremento nos gastos de produção (KOLAREVIC, 2003, p. 52).

As novas condições tecnológicas proporcionadas pela era digital apresentam a possibilidade de fabricação e produção de habitações que contemplem a customização em massa e os novos métodos digitais de construção e projeção. Dessa forma, a aplicação das ferramentas computacionais representa acima de tudo uma mudança no processo de produção de residências de baixo custo, uma vez que permitem que se obtenha soluções arquitetônicas massificadas e que ao mesmo tempo sejam diversificadas e adaptáveis a necessidades individuais dos usuários ou mesmo às exigências ambientais locais (BERGDOLL e CHRISTENSEN, 2008).

Neste trabalho aplicaremos os três sistemas generativos para projetar uma habitação de pequeno porte a partir de algumas exigências projetuais. Demonstraremos como o uso dessas novas técnicas digitais pode proporcionar variedade de soluções arquitetônicas.

3. SISTEMAS GENERATIVOS DE PROJETO

3.1. DEFINIÇÃO

Estes sistemas tratam de uma abordagem projetual em que o arquiteto define um modelo de produção de formas, através do qual obterá um vasto número de soluções geométricas. Após a obtenção de geometrias, o profissional seleciona dentre as formas emergentes aquelas que melhor atendem a seus objetivos projetivos. Este sistema permite que, concomitantemente às demais atividades, que o (a) arquiteto (a) manipule o sistema inserindo ou removendo regras no modelo generativo(KOLAREVIC, 2003, p. 26).

Nesta abordagem de projeto são definidos inicialmente um grupo de elementos controladores, limitadores, relações e regras que irão resultar nas estruturas formais. Após essa etapa o sistema gera um universo de soluções formais resultantes das interações entre os elementos definidos inicialmente. Diante desse conjunto de opções o arquiteto passa a verificar quais os elementos gerados melhor atendem às suas intenções projetuais.

Uma obra arquitetônica é a materialização dos conceitos projetuais definidos pelo arquiteto. O resultado final, determinado pelo projeto, é consequência dos aspectos limitantes ou condicionantes do mesmo tais como tamanho do lote, local de implantação, recursos técnicos e financeiros, exigências legais, etc. O processo de projeto incluirá também as preferências e necessidades do cliente, bem como as experiências sócio culturais prévias do (a) profissional e de como esses fatores se relacionam entre si.

Todas essas questões de projeto podem ser descritas e decodificadas para criar um Sistema Generativo (FRAZER, 1995, p. 9). Os recursos generativos não correspondem a um conceito novo. Ao longo da história, diversos profissionais tentaram aperfeiçoar suas rotinas de projeto. Ao fazer uso de regras que possibilitaram a criação de novas arquiteturas em acordo com a linguagem definida por eles (GODOI, 2008, p. 27).

Mitchell (1977), em seu livro “*Computer-Aided Design*”, identificou as origens dos sistemas generativos ao longo da história na filosofia, nos meios de produção literária e nos processos de composição musical. Na arquitetura esse método foi primeiramente aplicado por Leonardo da Vinci, que depois teve suas idéias formalizadas em livros pela *Ecole Polytechnique* e a *Ecole des Beaux-Art* durante o século XIX.

Dessa forma Mitchell definiu os modelos generativos como sendo uma abordagem que possui vários elementos arquitetônicos pertencentes a um determinado vocabulário. Estes elementos podem ser agrupados de acordo com diferentes combinações que darão origem a uma família de soluções arquitetônicas (ARIDA, 2004, p. 9).

Através do uso desse método de projeto é possível se alcançar uma grande variedade de soluções em um curto espaço de tempo. O sistema de geração de formas produz inúmeras soluções a partir das relações definidas pelo arquiteto (GODOI, 2008, p. 26).

A aplicação de métodos que fazem uso de um modelo generativo de formas trata fenômenos do mundo como um conjunto de processos dinâmicos. Esse tipo de visão resulta em mudança nos paradigmas projetuais. O (a) arquiteto (a) durante o processo de concepção precisa explicitar e apresentar os parâmetros do artefato a ser projetado ao invés simplesmente representar a forma final, passando a tratar das interações entre os componentes, sistemas e processos. Esses processos, por outro lado, originarão novos elementos com novas propriedades. Nesse modelo, o arquiteto deixa de considerar o objeto como um elemento estático, passando a se concentrar nas regras que o manipulam (MCCORMACK, DORIN e INNOCENT, 2004, p. 1).

O estudo dos processos generativos é importante para verificarmos como estes procedimentos alteram a forma como tratamos as questões de projeto. Verificaremos também de que forma e em que extensão esses processos modificam o papel do profissional no processo de concepção (como mostra a Figura 14 e Figura 15). Além de demandar o surgimento de novas posturas projetuais, esses

sistemas ainda possuem inúmeras aplicações no campo da arquitetura. Esses temas serão tratados em capítulos a seguir.

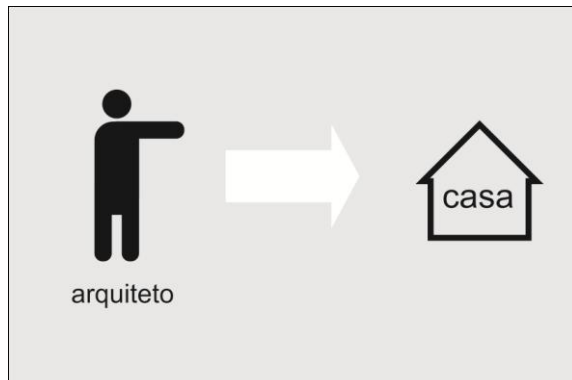


Figura 14: Abordagem tradicional de projeto. Fonte: Alves (2011).

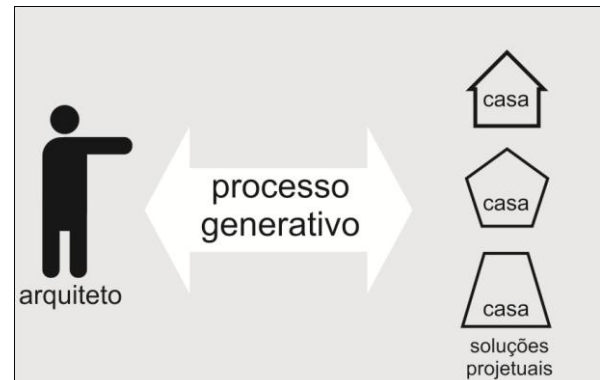


Figura 15: Abordagem Generativa do projeto arquitetônico. Fonte: Alves (2011).

3.2. O PAPEL DO ARQUITETO NO USO DOS SISTEMAS GENERATIVOS

A abordagem generativa altera significativamente o papel do arquiteto no processo de projeção. Segundo este método, deixa-se de especificar a edificação diretamente passando-se a desenvolver um sistema generativo de projeto. Isto ocorre devido ao uso de dispositivos geradores que têm enfoque na produtividade, variedade e na inovação formal (CELANI, PUPO, *et al.*, 2005, p. 502).

Desenvolver uma solução de projeto que satisfaça de forma concisa a um determinado programa de necessidades é o objetivo de todo arquiteto. Cada estilo arquitetônico desenvolvido ao longo da história corresponde à forma como aquelas sociedades melhor resolviam seus problemas espaciais e construtivos. As tipologias arquitetônicas de cada período são oriundas de fatores como o nível de desenvolvimento tecnológico, dos materiais disponíveis e dos aspectos naturais. A forma das catedrais ou dos templos gregos é conseqüência da soma desses aspectos que acabam por gerar um conjunto de elementos que se relacionam de acordo com regras que quando aplicadas se constituem numa linguagem construtiva (MITCHELL, 2008, p. 97).

O emprego de Sistemas Generativos possibilita que o profissional possa alcançar várias soluções projetivas a partir dos mecanismos de produção formais. O uso do computador aperfeiçoou o tempo necessário para a obtenção de novas formas. Ao mesmo tempo também ampliou a quantidade de resultados obtidos (FRAZER, 1995, p. 19).

Esse tipo de sistemática faz do projetista uma espécie de gerenciador das potencialidades morfogênicas do sistema desenvolvido. Nesta abordagem o(a) arquiteto(a) passa a escolher dentro do conjunto de elementos emergentes aqueles que estão de acordo com a sua sensibilidade estética e plástica (KOLAREVIC, 2001, p. 26).

Os Sistemas Generativos, implementados por ferramentas computacionais, oferecem uma maneira de investigar soluções geométricas inesperadas. Estas ocorrem apesar de serem resultantes de um agrupamento de relações que atuam sobre um grupo de elementos formais. A inserção de relações no modelo gerador ou a remoção de algumas delas transportam o arquiteto para territórios intelectuais desconhecidos. Dessa forma é possível visualizar abstrações formais, verificar suas condições de exeqüibilidade e simular seu comportamento no mundo real (TERZIDIS, 1999, p. 10).

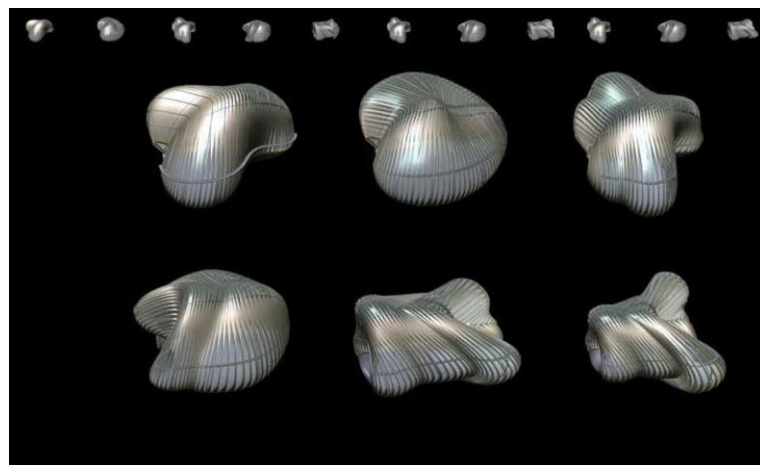


Figura 16: Greg Lynn Embriological Housing.

Fonte: <http://www.digischool.nl/ckv2/ckv3/kunstentechniek/lynn/greglynn.htm>. Acesso em: 07/01/2011.

Na Figura 16 observamos um conjunto de variações formais do projeto de uma casa. O arquiteto Greg Lynn faz uso de um sistema generativo em que a forma é gerada a partir da aplicação sucessiva de “forças” que atuam sobre um volume

inicial. Dessa maneira é possível obter e verificar várias soluções geométricas, uma vez que a cada aplicação um novo resultado emerge.

Nos métodos tradicionais de projeto o projetista deve explorar as soluções espaciais baseado em sua perspectiva estética, semiótica, cultural, política ou qualquer combinação destas ou de outras determinantes. Nesses métodos a relação entre produto e *designer* é direta. Por outro lado, nos métodos generativos a relação é indireta e envolve a criação e a modificação de regras manipuladas para gerar um artefato arquitetônico (MCCORMACK, DORIN e INNOCENT, 2004, p. 7).

3.3. USOS DOS SISTEMAS GENERATIVOS

O principal objetivo de um Sistema Generativo é gerar inúmeras soluções com o objetivo de ampliar o universo de opções. Esse processo gerador produz formas a partir de um conjunto preestabelecido de orientações. Essas orientações, por sua vez, podem ser expressas através de um programa de computador ou de um conjunto de operações lógicas, direcionadas para solucionar um problema arquitetônico.

Apesar de suas recentes aplicações auxiliadas por computador, essas abordagens vêm sendo aplicadas às práticas projetuais muito antes do advento do mesmo. Elas têm sido usadas com o objetivo de garantir soluções que fossem concernentes a uma linguagem ou tipologia arquitetural predefinida.

No renascimento, os arquitetos faziam uso da parametrização⁴ dos elementos clássicos. As dimensões dos elementos arquitetônicos clássicos eram definidos a partir de expressões matemáticas onde para cada valor inserido na expressão havia uma solução correspondente. Dessa forma era garantido ao arquiteto o surgimento de novas soluções formais que atendessem a tipologia definida pela relação matemática (BRIDGES, 1993).

Os processos generativos se caracterizam pelo seu potencial de proporcionar muitas respostas para uma determinada questão projetual, como, no exemplo ilustrado na Figura 16 (p.25). Dessa forma, ao(a) arquiteto(a) foi permitido,

⁴ O conceito de parametrização será devidamente discutido no capítulo 4.

através do uso de um sistema generativo, gerar e visualizar diversas variações volumétricas do mesmo projeto. A aplicação deles tem sido feita em três situações em que é necessário definir a:

“–Otimização de problemas: uso de sistemas generativos em problemas de projeto com critérios bem definidos. Como não existe um método direto para se encontrar uma solução é necessário gerar e testar todas as possibilidades a fim de se encontrar a [...] que melhor corresponda aos critérios exigidos.

–Família de objetos: situações onde há necessidade de variedade, ou seja, problemas de projeto que exigem um determinado número de soluções similares, mas ligeiramente diferentes. [...]

–Design Exploratório: situação onde os critérios para solução de problemas de projeto estão mal definidos, de forma que é importante avaliar as diferentes possibilidades para verificar os seus prós e contras [...] (Celani, 2008 apud GODOI, 2008, p. 27).”

Como se pode observar, através da citação acima, essas metodologias desempenham um importante papel no desenvolvimento de novas formas resultantes do processo de geração de soluções arquitetônicas. Isso ocorre porque elas permitem ao (a) profissional produzir rapidamente diversas e variadas possibilidades formais a partir de um conjunto de parâmetro. Além disto, consistem em uma abordagem capaz de atender as problemáticas tradicionais de arquitetura. Particularmente poderíamos destacar as situações que constituem o objeto de estudo desta pesquisa, isto é, aquelas nas quais haja demanda por soluções projetuais personalizadas ou na explicitação das razões que originam um projeto.

Apesar de cada estilo arquitetônico possuir um conjunto de características que o definem como tal, isso não implica em uma repetição de soluções projetuais. O que se observa é que apesar de partir de normas específicas é possível se obter um grande número de variações do mesmo tema. Isso ocorre porque na arquitetura não existe uma única solução para um determinado programa de necessidades, mas um número elevado de resultados que podem atender de forma satisfatória a um determinado programa.

Outro aspecto importante do emprego dessa abordagem é a possibilidade de podermos alcançar a customização em massa. Isto é possível porque um sistema

generativo gera um universo diversificado de proposições arquitetônicas pertinentes ao programa de necessidades. Essas propostas ao atenderem às especificações generativas preestabelecidas resultam em objetos correspondentes a uma linguagem (DUARTE, 2005, p. 378).

Outra aplicação desses processos projetivos é na definição e na análise de um determinado programa arquitetônico. A utilização dessa abordagem, ao gerar diversos modelos, em etapas iniciais do projeto permite que se tenha uma noção clara sobre o tipo de resultado que se poderá alcançar. Isto permitirá ao profissional a possibilidade de verificar que tipo soluções o sistema está produzindo. Poderá assim alterar o modelo generativo a partir da análise dos elementos obtidos (CALDAS e NORFORD, 2001, p. 1397).

Observa-se que para cada uma das aplicações apontadas anteriormente existe um tipo de ferramenta generativa que melhor atende a essas solicitações (GODOI, 2008, p. 28). Neste trabalho optou-se⁵ por estudar três Sistemas Generativos sendo eles:

- a) Gramática da Forma: gera soluções a partir de um conjunto de regras que definem um grupo ou grupos de elementos (STINY, 1980, p. 346);
- b) Arquitetura Algorítmica: usa um conjunto de etapas com o objetivo de solucionar um determinado problema de projeto (TERZIDIS, 2006, p. 15);
- c) Projeto Paramétrico: produz formas a partir da definição e da manipulação de parâmetros que atuam sobre uma determinada forma (SHENG YU, 2009, p. 12).

O estudo mais aprofundado destas três ferramentas generativas se justifica por serem adotadas no desenvolvimento deste trabalho. A escolha delas ocorreu devido ao fato de que estes métodos podem ser aplicados conjuntamente no processo de projeção. A possibilidade e a vantagem da combinação destas três abordagens serão apresentadas ao longo dessa dissertação.

⁵Existem outros tipos de Sistemas Generativos como, por exemplo: a Simetria, os Fractais, os Algoritmos Genéticos.

4. GRAMÁTICAS DA FORMA

4.1. DEFINIÇÃO

A Gramática da Forma é um sistema generativo que permite a criação de formas a partir de regras que determinam relações e operações combinatórias de um grupo de elementos que definem uma linguagem formal.

Esse sistema foi desenvolvido por George Stiny e James Gips no início da década de 1970. Eles usaram como ponto de partida o sistema de produção de Emil Post e a gramática generativa de Noam Chomsky. O sistema de Post consistia na substituição de caracteres em uma seqüência de letras com o objetivo de geração de novas combinações. A gramática generativa, desenvolvida por Chomsky (1957) nos anos 50, consiste em um conjunto de regras por meio das quais é possível gerar todas as seqüências de palavras (frases) válidas em uma linguagem, por meio de substituições a partir de um símbolo inicial. As teorias desenvolvidas por Post tiveram diversas aplicações ao longo do século XX entre elas os fractais e as gramáticas formais. A partir de uma gramática formal é possível descrever uma linguagem através de um alfabeto e de um conjunto de regras. As gramáticas formais podem ser do tipo generativo e do tipo analítico (CELANI, CYPRIANO, *et al.*, 2006, p. 2).

Celani define esses dois tipos da seguinte forma:

*“A gramática generativa, [...], consiste em um conjunto de regras por meio das quais pode-se gerar todas as seqüências de palavras (frases) válidas em uma linguagem, por meio de substituições a partir de um símbolo inicial. Em uma gramática analítica, por outro lado, o processo se reverte, e a partir de uma seqüência dada de palavras são feitas reduções sucessivas. O resultado é uma variável booleana do tipo “sim” ou “não”, que indica se a seqüência original pertence ou não à linguagem descrita pela gramática. (CELANI, CYPRIANO, *et al.*, 2006, p. 2).”*

A gramática da forma consiste em um conjunto de normas visuais aplicadas recursivamente sobre uma forma inicial resultando em novas formas que caracterizarão uma tipologia projetual. Esse procedimento corresponde ao conjunto

de alternativas projetivas pertinentes a um estilo particular (KNIGHT, SASS e KAMATH, 2008, p. 510).

Esse formalismo, pode ser conceituado ainda como um processo, que através da associação de um conjunto finito de formas a um grupo finito de regras é capaz de produzir novas combinações. Esse método contém especificações que determinam como os elementos do vocabulário serão agrupados para gerar elementos pertencentes a uma determinada linguagem (MAYER, 2003, p. 60).

Este método de produção de formas é similar a estrutura gramatical de um idioma. Neste, a estrutura das frases é definida em relação a alfabetos simbólicos. A seguir são geradas linguagens seqüenciais de símbolos. Gramáticas da forma são definidas a partir de alfabetos formais que resultarão linguagens formais (STINY e GIPS, 1972, p. 128).

A gramática da forma é um formalismo que pode ser definido através de algoritmos em termos de formas e elementos formais parametrizados, que possuem marcadores. Nestes últimos cada algoritmo define uma linguagem (STINY, 1980, p. 347). Esse sistema é caracterizado por quatro componentes: um conjunto finito de formas; um conjunto finito de símbolos; um conjunto finito de regras formais do tipo $\alpha \rightarrow \beta$; e por fim uma forma inicial com um marcador (STINY, 1980, p. 347).

Os marcadores são elementos inseridos no processo com objetivo de indicar onde uma regra do conjunto deve ser aplicada. Ao determinar onde uma determinada forma do sistema será inserida, o marcador, fornece ao arquiteto a possibilidade de controlar como as normas serão utilizadas para gerar combinações formais. Dessa forma diminuem a ocorrência de simetria, ao mesmo tempo em que restringem a aplicação de regras (GODOI, 2008, p. 35).

Godói (2008, p. 33) afirma ainda que o desenvolvimento de uma gramática da forma consiste em cinco etapas. São elas:

- a) Definição do Vocabulário de formas: constituído por um conjunto de elementos construtivos (bidimensionais ou tridimensionais) e pelas transformações euclidianas (translação, rotação, escala e espelhamento) que atuarão sobre as formas;

- b) Relações Espaciais: correspondem às idéias de composição do projeto que determinarão como as formas do vocabulário podem ser combinadas;
- c) Regras da Forma: expressam as operações que serão executadas repetidamente sobre as formas;
- d) Forma Inicial: dentre as formas do vocabulário estabelecido, escolhe-se um elemento onde inicialmente se aplicará as regras de composição;
- e) Gramática da Forma: resulta da soma dos componentes descritos anteriormente (forma inicial, relações espaciais, regras de composição) e pela aplicação sucessiva das regras.

O método generativo de formas inicia-se a partir da aplicação sucessiva de regras sobre a forma inicial. O resultado da aplicação de uma determinada operação em um elemento (α) consiste em outro elemento correspondente (β) da relação $\alpha \rightarrow \beta$. O processo de geração de formas termina quando as regras não podem mais ser aplicadas sobre os elementos (GIPS, 1975, p. 5).

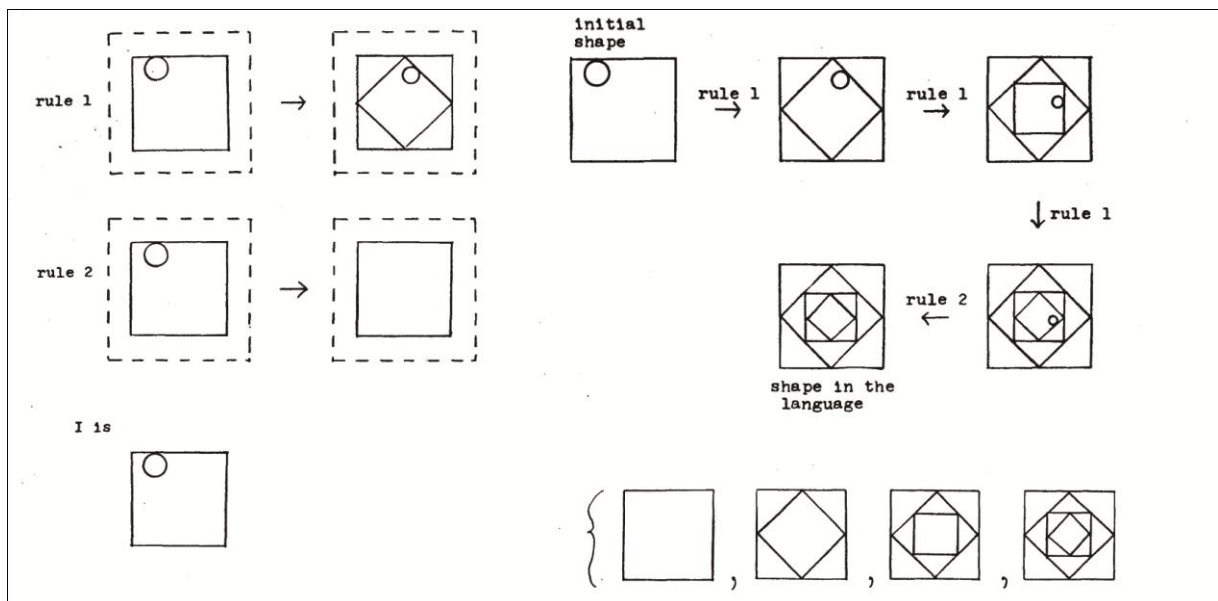


Figura 17: Exemplo de uma gramática da forma e da linguagem resultante das operações.
Fonte: Gips(1975), adaptada pelo autor.

Na Figura 17 temos uma forma inicial "I" a partir da qual serão aplicadas as regras (*rules*) um e dois. A aplicação sucessiva dessas regras resultará em uma seqüência de elementos, que correspondem a uma linguagem. Podemos observar ainda que, as regras poderiam ser aplicadas indefinidamente ou até que o *designer* encontre uma forma que lhe satisfaça e encerre o processo.

Esse formalismo se insere na área de *design computing* ou *computational design*. Apesar do termo remeter ao uso de computadores, não consiste necessariamente no emprego de aplicativos em computador ou na aplicação de programação. Trata-se de uma maneira de pensar o projeto de forma lógica e matemática (CELANI, CYPRIANO, *et al.*, 2006, p. 3).

A gramática da forma foi um dos primeiros sistemas computacionais que permitia o desenvolvimento de projetos através da computação⁶ de dados sobre as formas. Esse formalismo possibilitou que o emprego da computabilidade, por meio de uma linguagem visual. Dessa forma a computação foi implementada aos processos de projeção através de uma linguagem computacional textual e verbal mesmo antes do surgimento dos computadores (KNIGHT e STINY, 2001, p. 362).

Essa ferramenta computacional tem servido de arcabouço teórico para metodologias projetuais que contemplam o emprego do computador. Assim contribuem para o surgimento de práticas arquitetônicas que utilizem efetivamente as novas tecnologias. Dessa forma, o emprego desses processos resulta no aparecimento de em novas tipologias arquiteturais, condizentes com as inovações tecnológicas disponíveis.

4.2. TIPOS DE GRAMÁTICA DA FORMA

Inicialmente desenvolvidas para gerar especificações para pinturas e esculturas, as gramáticas da forma foram incrementadas e desenvolvidas (STINY e GIPS, 1972). À medida que foram sendo aplicadas novas variações e tipos foram surgindo. A seguir abordaremos os tipos mais comuns de gramáticas da forma.

4.2.1. GRAMÁTICA DA FORMA ANALÍTICA

A gramática analítica tem como objetivo estudar os aspectos formais de uma determinada tipologia. Tem início através da identificação dos padrões e princípios que se repetem em determinado conjunto de edificações. A partir desse conjunto se

⁶ Aqui o termo computação é utilizado em um sentido mais próximo do termo em **computation**, que se refere a qualquer tipo de processamento de informações, incluindo-se desde operações elementares até o estudo dos processos cognitivos (CELANI, CYPRIANO, *et al.*, 2006, p. 3)

estabelece um vocabulário de formas e regras de composição (WEBER, 2005, p. 54).

Esse tipo de gramática tem sido utilizado para explicitar os elementos e as relações que definem uma determinada linguagem arquitetônica. Deve ser capaz de reproduzir os elementos iniciais que serviram de base para coleta de dados e para gerar outros novos pertencentes à mesma linguagem (GODOI, 2008, p. 38).

Na Figura 18, a seguir, verificamos uma gramática da forma para as *prairie houses* de Frank Lloyd Wright. Esta gramática foi construída a partir de estudo do conjunto de casas existentes e dos elementos que compunham essas residências. Definiu-se um vocabulário de formas e as relações que determinavam como esses elementos foram combinados para compor um componente do vocabulário. Essa gramática possibilitou além da obtenção dos elementos existentes o surgimento de novas soluções projetuais pertinentes a linguagem do arquiteto.

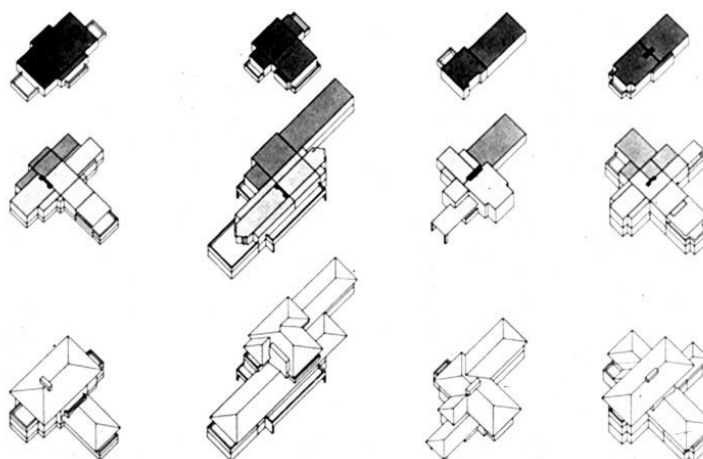


Figura 18: Gramática Analítica das *prairie houses* de Frank Lloyd Wright.
Fonte: Knight e Stiny (2001).

Ao observar a imagem acima podemos perceber que os elementos do conjunto guardam entre si elementos comuns. Cada composição resultante da aplicação da gramática é consequência da combinação dos componentes formais que compõe a linguagem arquitetural do arquiteto para esse tipo de residências. É possível verificar que uma gramática analítica ao gerar as formas que compõe um determinado vocabulário arquitetônico possibilita a explicitação e a análise das regras que originam a linguagem das *prairie houses*. Além de fornecer a

possibilidade de produzirmos novas variações que sejam pertencentes ao conjunto inicial que serviu de base para a definição da gramática.

4.2.2. GRAMÁTICA SINTÉTICA

Uma gramática da forma sintética consiste em um formalismo onde um universo de soluções formais surge a partir de um conjunto de regras e de inter-relações. Essa gramática foi inicialmente utilizada para produzir pinturas a partir de operações que definiam composições formais.

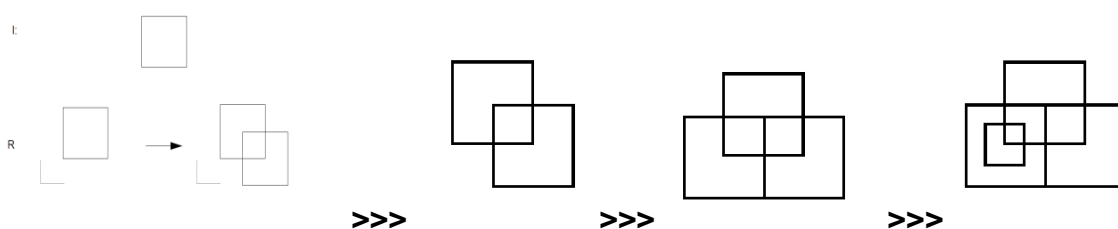


Figura 19: Aplicação de gramática sintética.
Fonte: Autor.

O emprego desse tipo de gramática permite que se crie uma linguagem formal partir de um conjunto de regras e de uma forma inicial. Não dependendo da análise prévia de uma tipologia existente como é o caso da gramática analítica. Na Figura 19, acima, podemos observar o surgimento de uma família de formas originadas a partir de uma forma inicial (o quadrado) e da regra de combinação (sobreposição de quadrados) que atua sobre essa forma.

4.2.3. GRAMÁTICA COM MARCADORES

Nesse tipo de gramática aplica-se um marcador às formas para restringir a aplicação de regras. O marcador define as partes das formas que irão ser afetadas pela regra. Ao mesmo tempo ajuda a determinar as transformações necessárias para aplicar as regras. Obtém-se, dessa forma, maior controle sobre os resultados derivados da gramática (GIPS, 1975, p. 19).

Na Figura 20 (p.35), a seguir, podemos observar que a variação no posicionamento dos marcadores produz resultados diferentes. Nesta gramática, em cada regra o marcador é posicionado em um local diferente, o que resulta numa forma diferente. Além de restringir e dar maior controle sobre as combinações que

ocorrem no sistema, a inserção ou remoção desse tipo de elemento ao conjunto possibilita que se obtenha soluções diversificadas rapidamente.

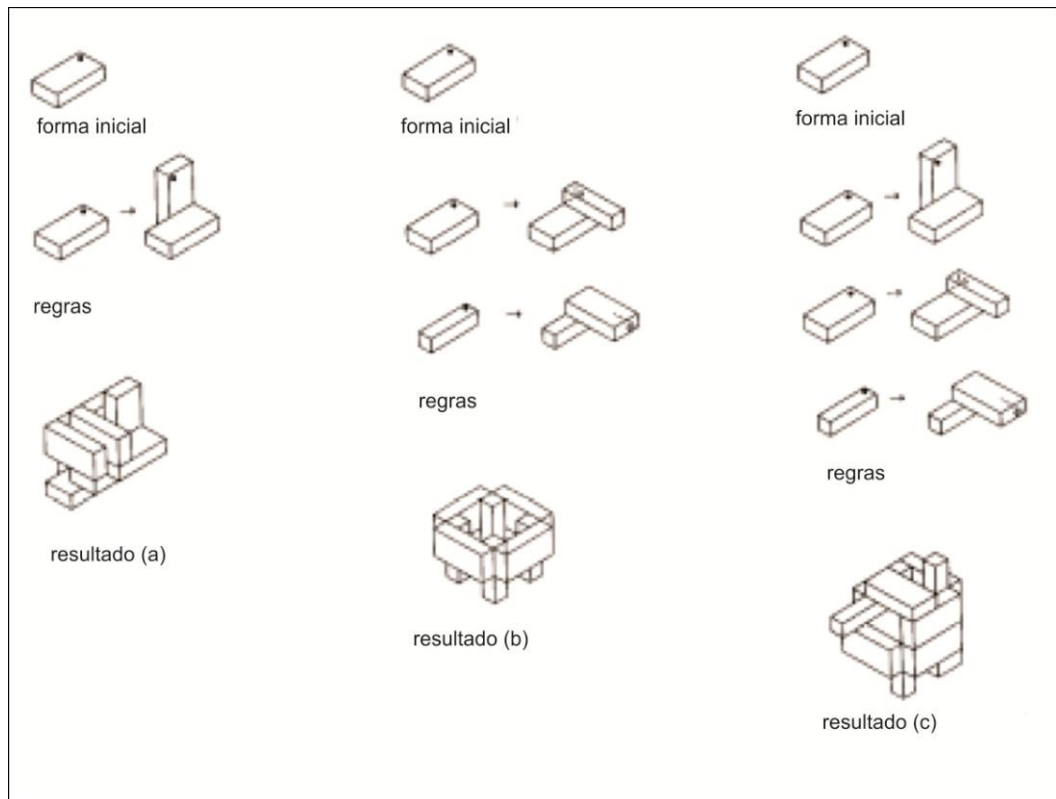


Figura 20: Aplicação de marcadores em uma gramática da forma.
Fonte: Knight (1991)

4.2.4. GRAMÁTICAS FÍSICO-VISUAIS

Trata-se de um novo tipo de gramática da forma, que une duas áreas do projeto computacional: a gramática da forma e a fabricação digital. Estes métodos são usados para desenvolver sistemas de construção e montagem de casas ou pequenas estruturas ao mesmo tempo em que garante variabilidade de soluções. O uso desse método permite ainda que os diversos elementos gerados pertençam a uma linguagem arquitetônica pré-estabelecida. Uma gramática físico-visual é capaz de gerar todas as informações CAD/CAM necessárias para a fabricação dos componentes do conjunto (KNIGHT, SASS e KAMATH, 2008, p. 510).

A princípio define-se através de um computador o vocabulário e as regras da gramática que resultarão no universo de soluções formais. A partir do conjunto de soluções obtidas determina-se qual destas melhor atende ao programa de necessidades. Após a escolha da solução formal passa-se a construção de

protótipos para que se verifique se a opção escolhida é exeqüível e se de fato atende às demandas de projeto, por fim constrói-se a edificação.

Na Figura 21 e Figura 22, a seguir, temos um exemplo da implementação de uma gramática da forma físico visual. Nestas, vemos inicialmente que se define e se aplica uma gramática da forma onde cada elemento do vocabulário corresponde a um componente construtivo (veja Figura 21). Após a aplicação das regras obtêm-se diversas soluções formais, a partir desse grupo de resultados se seleciona aquele que melhor atenda as necessidades do projeto.

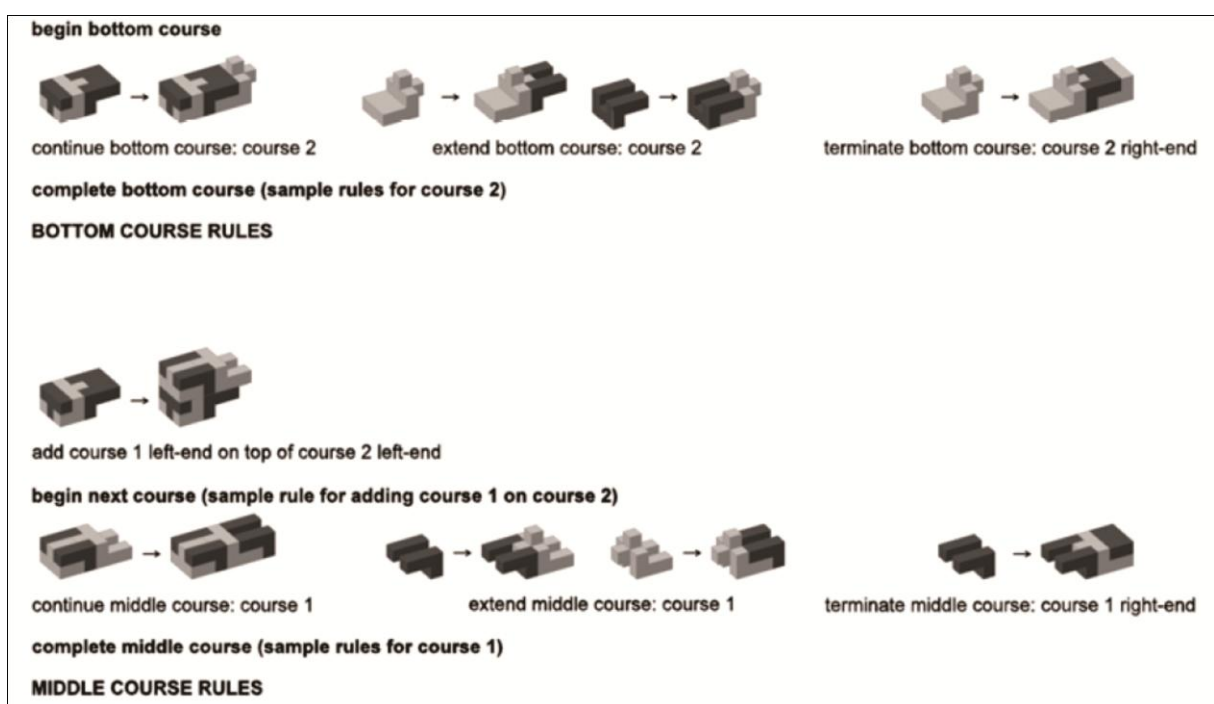


Figura 21: Gramática da forma dos componentes do sistema.
Fonte: Knight et al(2008)

Após a escolha de uma das soluções passa-se ao desenvolvimento de protótipos. Dessa forma, será possível verificar a exeqüibilidade da proposta selecionada para então se prosseguir para a construção da edificação (Figura 22).



Figura 22: Fonte prototipagem dos elementos da gramática físico-visual e a construção dos protótipos.
Fonte: Knight et al (2008).

4.3. APLICAÇÕES DAS GRAMÁTICAS DA FORMA

As gramáticas da forma podem ser utilizadas tanto para a análise, quanto para produção de formas. Esse formalismo fornece um mecanismo para explicitar as especificações referentes à estrutura subjacente de uma forma. Desse modo é possível analisar um conjunto formal a partir dessa estrutura (GIPS, 1975, p. 64).

Nos últimos anos essa sistemática tem sido utilizada para descrever e entender a diversidade presente em um determinado estilo arquitetônico. O uso de gramáticas da forma em arquitetura tem ocorrido mais freqüentemente para analisar e descrever um determinado estilo contemporâneo ou histórico; ou para a criação de linguagens formais completamente novas e originais (KNIGHT, 1991, p. 33).

William J. Mitchell, em seu livro *“A Lógica da Arquitetura”*, descreve um trabalho seu desenvolvido juntamente com James Gips em 1978 para demonstrar as regras que definiam as vilas paladianas. Naquele trabalho, eles determinaram as normas de projeção estabelecidas por Palladio e a partir delas puderam extrair diversas soluções arquitetônicas tais como composições de plantas baixas. Assim foram preservadas as relações definidas pelo arquiteto (MITCHELL, 2008, p. 162).

A aplicação deste método, nesta pesquisa, forneceu os mecanismos necessários para definir uma estética fundamentada na lógica construtiva das vilas. Resultou em um sistema generativo capaz de descrever e gerar soluções

arquitetônicas condizentes com aquelas definidas por Palladio (STINY e MITCHELL, 1978, p. 18).

Os trabalhos desenvolvidos por Stiny e Mitchel serviram de base para o desenvolvimento de diversas pesquisas como as gramáticas da forma das *prairie houses* de Frank Lloyd Wright e a gramática da forma das obras de Oscar Niemeyer, que foram desenvolvidas pelos pesquisadores Terry Knight e Rosirene Mayer, respectivamente.

O pesquisador José Pinto Duarte desenvolveu um trabalho similar ao de Mitchell e Stiny. Neste trabalho, a partir de um conjunto de casas, projetadas por Álvaro Siza e construídas em Malagueira, extraiu uma gramática da forma. O vocabulário e as regras foram definidos a partir da análise das unidades habitacionais construídas e do método criado por Siza, para projetar essas residências.

O método definido por Siza para esse conjunto de casas tinha como objetivo possibilitar a criação de soluções formais diferenciadas, que constituíssem uma tipologia. O trabalho desenvolvido por José Duarte permitiu que através da gramática da forma desenvolvida fosse possível descrever a linguagem formal criada pelo arquiteto português. Ao mesmo tempo seu estudo serviu de base para a geração de novas soluções arquitetônicas personalizadas. Havia, no entanto, a preocupação no sentido que mantivessem os elementos formais característicos ao conjunto existente (DUARTE, 2005, p. 347).

Na figura Figura 23, a seguir, é possível identificar alguns dos elementos do universo de tipos definidos por essa gramática. É interessante verificar que apesar do fato dessas propostas consistirem em soluções arquitetônicas diferentes elas são constituídas pelos mesmos elementos formais. Neste sentido podemos citar, por exemplo, o pátio interno, o teto em laje, à predominância de formas retilíneas e geométricas, etc.

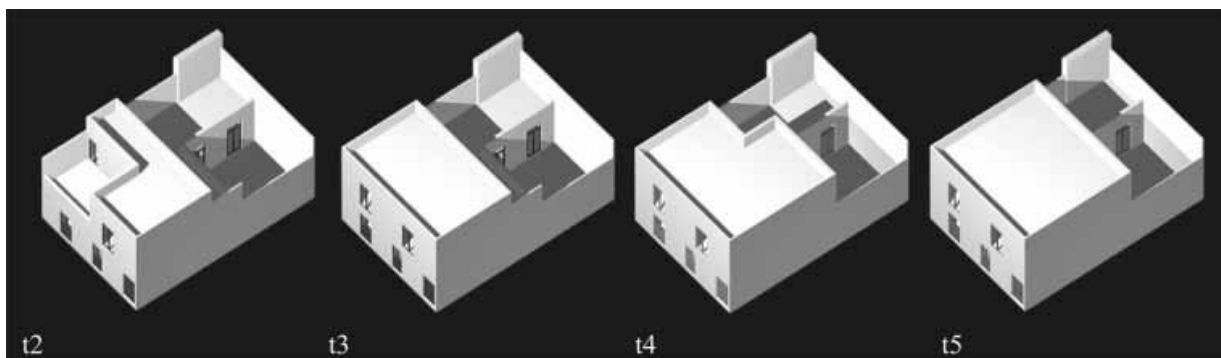


Figura 23: Variação de soluções para o pátio superior geradas pela gramática da forma das casas da Malagueira, POR. Fonte: Duarte (2005).

Nesta dissertação, pretendemos empregar a gramática da forma para definir um vocabulário de elementos arquitetônicos formais, pertinentes ao projeto de residências de pequeno porte. Esses elementos serão combinados por meio de um algoritmo visual para gerar soluções de projeto. Os resultados obtidos a partir da aplicação da gramática da forma permitirão que se verifiquem o impacto do uso desse sistema generativo sobre o processo projetivo.

5. PROJETO PARAMÉTRICO

5.1. CONCEITO

O projeto paramétrico é um método em que a arquitetura é definida através da especificação de seus parâmetros. Os elementos formais que caracterizam o projeto são expressos por meio desses parâmetros e da variação dos mesmos. Dessa forma cada alteração realizada sobre um componente paramétrico do conjunto resultará numa forma diferente. Desse modo a partir da modificação de um ou mais parâmetros pode-se obter facilmente soluções diversas.

Branko Kolarevic (2003) conceitua o projeto paramétrico da seguinte maneira:

“No projeto paramétrico, são os parâmetros de um projeto específico que são declarados, não sua forma. Através da atribuição de diferentes valores aos parâmetros, diferentes objetos ou configurações podem ser criados. Equações podem ser usadas para descrever relações entre os elementos, definindo assim uma geometria associativa [...]. Desta forma, interdependências entre objetos podem ser estabelecidas, e o comportamento dos objetos sob transformações definidos” (KOLAREVIC, 2003, p. 17).

A partir desse conceito podemos concluir que o projeto paramétrico possibilita definir arquiteturas a partir dos seus componentes e das interações entre os mesmos. Dessa forma, nesse método projetual o arquiteto muda o enfoque da geometria para os mecanismos internos que a definem.

Há outro conceito de projeto paramétrico fornecido por Eastman (*et al*, 2008), em seu livro *“BIM Handbook: A guide to Building Information”*, em que o autor afirma que:

“No projeto paramétrico, ao invés de se projetar uma instância⁷ de um elemento construtivo como uma parede ou uma porta, o projetista define uma família de modelos ou uma classe de elementos, que é um conjunto de

⁷ O termo *instância* aqui é utilizado no mesmo sentido do termo em inglês *instance* que segundo o Webster significa: um item de informação que é típico de uma classe ou grupo (*“an item of information that is typical of a class or group”*).

relações e regras para controlar os parâmetros, através da qual cada elemento instanciado pode ser gerado, variando de acordo com seu contexto. Os objetos são definidos usando parâmetros envolvendo distâncias, ângulos, e regras do tipo: 'unido a', 'paralelo a' e 'distante de'. Estas relações permitem que, cada instância de uma classe de elementos varie de acordo com a configuração de seus próprios parâmetros e relações contextuais. Paralelamente, as regras podem ser definidas como especificações que o projeto deve satisfazer [...]”(EASTMAN, PAUL, et al., 2008, p. 29).

Na Figura 24, a seguir, temos um modelo parametrizado que consiste em um conjunto de peças apoiadas uma na outra definindo um objeto. Neste modelo os elementos que compõe a forma e a localização deles em relação aos demais componentes do objeto correspondem à família de modelos citada por Eastman. Assim, ao se alterar a dimensão das peças ou posição delas obtemos um resultado específico decorrente dessa modificação.

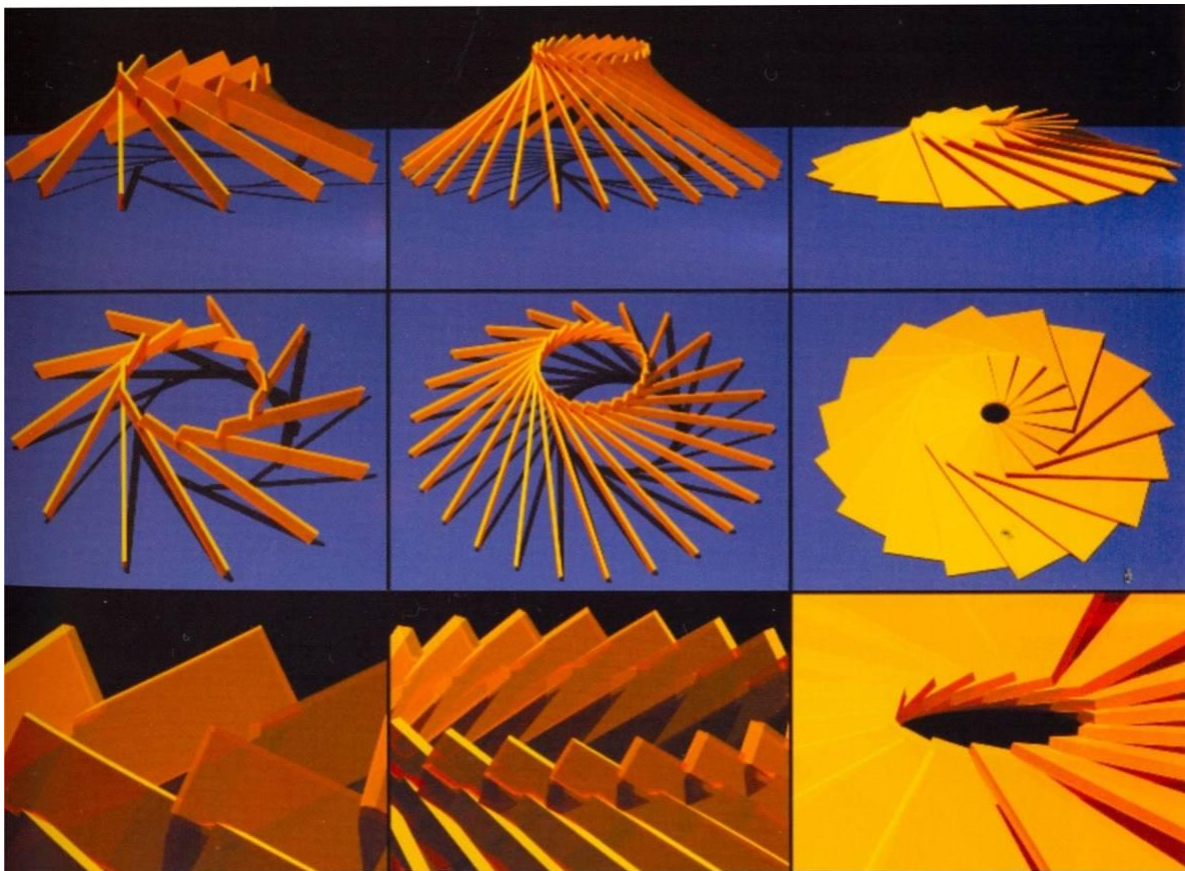


Figura 24: Variações de um mesmo modelo paramétrico, diferenciado pela alteração dos parâmetros.
Fonte: Kolarevic (2003).

Nessa gramática parametrizada as alterações na geometria ocorrem de forma automática. Sempre que é feita uma alteração em uma relação ou parâmetro todos os demais elementos do conjunto e conseqüentemente sua geometria são modificados. Essa facilidade não é possível quando se faz uso de ferramentas não paramétricas nas quais as modificações teriam de ser feitas manualmente (KRYGIEL e BRADLEY, 2008, p. 26).

O desenvolvimento da modelagem paramétrica alterou as representações do projeto arquitetônico de notação de formas geométricas para a notação de modelos geométricos paramétricos (modificáveis), possibilitado ainda a construção de relações geométricas instrumentais. Nestas últimas envolvem relações entre os modelos definindo uma geometria constituinte na qual os objetos estão mutuamente conectados (SILVA e AMORIM, 2010).

O conceito de variação paramétrica não é recente nas práticas projetuais. Ao longo da história da arquitetura há exemplos de aplicação de parametrização para expressar e definir uma linguagem arquitetônica específica. Na Renascença, os arquitetos freqüentemente criavam diagramas definindo elementos arquitetônicos clássicos. Não utilizavam valores fixos, mas expressões matemáticas. Nessas os valores eram definidos por meio de uma variável como a relação entre o diâmetro de uma coluna e a sua altura, por exemplo. Desse modo, ao atribuir medidas a essas variáveis independentes obtinha-se um objeto que obedecia às normas formais da arquitetura clássica (BRIDGES, 1993).

Através desse tipo de parametrização os arquitetos renascentistas podiam construir edificações que apesar de possuírem tamanhos diferentes ainda guardavam relações plásticas entre si. Dessa forma, o arquiteto podia obter elementos construtivos que atenderiam às suas necessidades de projeto. Assim, à medida que atribuía valores à expressão paramétrica ele obtinha um componente diferente mas que estava de acordo com as especificações da arquitetura clássica, como mostrado na Figura 25, a seguir.

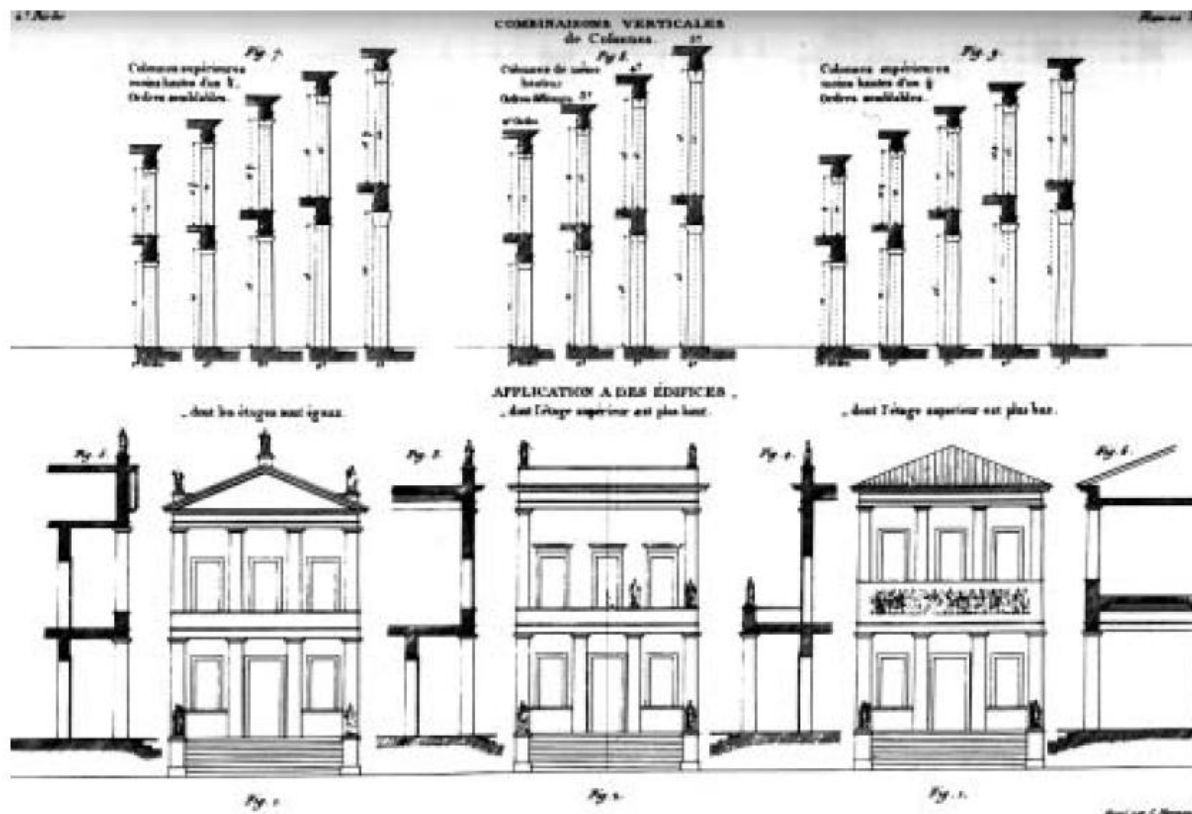


Figura 25: Variação paramétrica de colunas na arquitetura renascentista.
 Fonte: Moreira (2008).

Os sistemas CAD potencializaram as vantagens oferecidas pelos sistemas paramétricos. Isto ocorreu quando possibilitaram que o arquiteto pudesse gerenciar uma grande quantidade de parâmetros. Ao mesmo tempo, proporcionam uma rápida visualização de diversas formas à medida que se alteravam os valores dos parâmetros. Essas ferramentas computacionais ainda permitem que variáveis como a cor de um objeto, da saturação e do brilho possam ser expressos como funções descritivas da cor de algum objetivo (MOREIRA, 2008, p. 94).

O uso de ferramentas paramétricas computacionais ocorreu primeiramente durante os anos oitenta. Elas foram inicialmente adotadas pela indústria automobilística, naval e aeroespacial para coordenar e conectar projeto e construção. O emprego dessas tecnologias nessas indústrias consistiu numa reinvenção na forma de conceber e fabricar esses produtos. A parametrização permite que o projeto seja desenvolvido e avaliado em um ambiente virtual, onde a partir do modelo virtual sejam extraídas todas as informações necessárias para a fabricação dos produtos (KOLAREVIC, 2003, p. 10).

Os sistemas paramétricos diferem dos sistemas tradicionais de desenho digital ao permitir alterar o modelo durante todo o processo de projeção. Ao mesmo tempo, permitem também gerar e testar grande quantidade de versões dentro de um ambiente controlado de projeto (Figura 24, p.33). Esses resultados são possíveis a partir da simples mudança de valores de um parâmetro específico (SILVA e AMORIM, 2010).

Por outro lado, nos sistemas CAD tridimensionais todos os componentes da geometria de um elemento devem ser editados manualmente pelo usuário. No modelo paramétrico a forma e a geometria de montagem são automaticamente ajustadas. Esse recurso da parametrização oferece ao arquiteto um elevado nível de controle sobre a arquitetura projetada (EASTMAN, PAUL, *et al.*, 2008).

O projeto paramétrico se baseia nas relações entre os diversos elementos de um sistema, permitindo construir um verdadeiro complexo de objetos em interação. A parametrização ocorre partir de um conjunto de regras onde o todo se caracteriza através das inter-relações entre as diversas partes constituintes (KOLAREVIC, 2003, p. 150).

A difusão dessas técnicas de desenho paramétrico e a incorporação das ferramentas digitais na construção civil têm influenciado não só a forma como a arquitetura é produzida, como também tem se configurado em um novo estilo. Não se trata apenas do uso de um determinado conjunto de ferramentas e técnicas. A parametrização oferece aos arquitetos uma maneira nova de se relacionar com a arquitetura. Trata-se de uma abordagem baseada no projeto computacional avançado (SCHUMACHER, 2010).

5.2. “BUILDING INFORMATION MODELING”– BIM E A PARAMETRIZAÇÃO

Devido à difusão das tecnologias computacionais e de novas metodologias de projeto o termo parametrização passou a se popularizar entre os profissionais de arquitetura. Apesar de muitos arquitetos terem noção sobre o que venha a ser parametrização e projeto paramétrico, poucos são os que faziam uso desse método (KOLAREVIC, 2003, p. 149).

O desenvolvimento de software nessa área tem possibilitado que mais arquitetos tenham conhecimento do projeto paramétrico. Nesse aspecto, os softwares BIM desempenham papel central, servindo de ferramenta para a incorporação da parametrização pelos profissionais.

Um sistema BIM incorpora a lógica de um sistema paramétrico, em que a arquitetura é expressa em termos de parâmetros, em que a variação de um deles resulta em alteração automática de todo o projeto.

O conceito mais antigo que se tem sobre BIM foi publicado em um artigo chamado “*Building Description System*” de Charles M. “Chuck” Eastman, no “*AIA Journal*”. Onde Eastman usa essa abordagem como:

“...definição interativa de elementos... derivação de planos, isométricas ou perspectivas da mesma descrição de elementos... Qualquer mudança no arranjo só será feita uma vez para todos os desenhos futuros a serem atualizados. Todos os desenhos derivados do mesmo arranjo de elementos seriam automaticamente atualizados de forma consistente... análises quantitativas pode ser feitas diretamente no modelo... Estimativas de custos e de materiais podem ser geradas facilmente... provendo um único banco de dados integrado para análises visuais e quantitativas... verificação de código de edifício automatizada em prefeituras ou no escritório do arquiteto. Contratantes de grandes projetos podem achar esta representação vantajosa para cronogramas e quantitativos de materiais.” (EASTMAN 1975, apud LAISERIN, 2008, in EASTMAN et al, 2008, p. XIII).

Esse conceito introduzido por Chuck Eastman serviu de base para o desenvolvimento dos softwares BIM (MOREIRA, 2008, p. 69). Esses aplicativos permitem a modelagem de elementos paramétricos e a sua rápida modificação no momento em que novos dados são inseridos. Isto permite que seja possível uma completa visualização do projeto, a realização de estimativas de custos, análises de quantitativos de materiais, a verificação da conformidade do projeto com a legislação urbana, além de estudos de desempenho ambiental (CLAYTON, 2008, p. 6).

O BIM é definido como a criação e o uso de informação computável parametrizável de um projeto digital tridimensional arquitetônico. Nos sistemas BIM, as informações paramétricas são utilizadas para a tomada de decisão, produção de

plantas técnicas e de documentação, análise de desempenho, estimativa de custos e planejamento da construção. Dessa forma o modelo virtual único passa a ser a fonte primordial de toda a informação construtiva referente ao projeto (KRYGIEL e BRADLEY, 2008, p. 27).

Através de uma ferramenta BIM um modelo paramétrico tridimensional é criado. Esse modelo será utilizado para gerar automaticamente todas as representações referentes à edificação projetada. Nesta abordagem os desenhos (plantas, cortes, fachadas, detalhes, etc.) não correspondem a um conjunto de linhas criadas manualmente em software, mas a representações interativas do modelo digital. Dessa forma ao se realizar uma alteração em um determinado elemento do conjunto todos os demais desenhos serão alterados automaticamente.

No sistema CAD tradicional cada vista é um desenho separado que não possui nenhum vínculo com os demais do conjunto. As representações de plantas, cortes e fachadas constituem um conjunto de todos os arquivos gerados manualmente. Nesse modelo as modificações realizadas em um determinado desenho devem ser feitas manualmente nos demais.

Em contraposição, os sistemas CAD convencionais inicialmente produziam desenhos vetoriais associados a tipos de linhas e a camadas identificadoras. O desenvolvimento desses aplicativos permitiu que eles gerassem modelos tridimensionais, que estão disponíveis no mercado desde meados da década de 1980. O desenvolvimento da modelagem tridimensional e das ferramentas BIM mudou o foco de desenhos e visualizações de imagens para informação em si. Isto ocorre porque os modelos produzidos com o uso do BIM fornecem todas as informações construtivas do projeto da edificação (EASTMAN, PAUL, *et al.*, 2008, p. 12).

5.3. USO DO PROJETO PARAMÉTRICO

O uso da parametrização em projetos de arquitetura tem instigado mudanças consideráveis. Ao permitir que se gerencie simultaneamente uma grande quantidade de variáveis, o arquiteto passa a ter maior controle sobre a arquitetura. Permite, também, dessa forma, trabalhar mais facilmente com programas de grande complexidade.

Outra vantagem trazida com o emprego da parametrização é a possibilidade de variabilidade de formas. Isto ocorre uma vez que a alteração dos dados construtivos se reflete diretamente no comportamento dos elementos parametrizados. A cada modificação realizada sobre uma variável, uma geometria correspondente será gerada. Esse recurso permite ao profissional a possibilidade de visualizar diversas soluções pertinentes ao problema arquitetônico tratado.

A utilização de parâmetros altera o foco da definição direta de uma forma arquitetônica. O foco passa a ser a caracterização dos elementos e das correlações que operam sobre esses parâmetros. Ao determinar as relações que afetam os parâmetros o arquiteto passa a explicitar a lógica das suas decisões projetuais.

A contribuição do emprego da parametrização no projeto de pequenos programas arquitetônicos é a possibilidade de se conseguir gerenciar os parâmetros que controlam a geometria arquitetônica. Outro aspecto da parametrização que se pretende empregar é a variabilidade de soluções formais. Verificaremos, a partir da variação paramétrica, quais dentre os resultados obtidos são os que melhor atendem as solicitações de projeto.

6. ARQUITETURA ALGORITÍMICA

6.1. DEFINIÇÃO

6.1.1. ALGORITMO

O termo Algoritmo é, derivado do nome Al-Khuwarizi, matemático árabe(A.D. 825), que corresponde a um procedimento para resolver um problema matemático em um número finito de etapas, que freqüentemente envolve uma operação a ser repetida. Esse método pode ser interpretado como um conjunto de passos realizados em seqüência para resolver um problema ou chegando a um fim espacialmente através do uso do computador⁸.

Um algoritmo é um procedimento computacional para resolver problemas através de um número finito de etapas. Pode ser definido como um plano estratégico para solucionar um determinado problema. Pode consistir em uma ferramenta randômica de pesquisa que tem por objetivo a busca de possíveis soluções para um problema parcialmente definido. Pode ainda ser um processo que codifica uma determinada questão em uma série de etapas consistentes, racionais e finitas (TERZIDIS, 2006, p. 15).

Uma analogia para auxiliar a compreensão do conceito de algoritmo é compará-lo a uma receita de bolo. Essa é uma analogia que permite identificar uma seqüência de operações que resultarão no preparo do produto final, o bolo, no caso, conforme vemos na Figura 26.

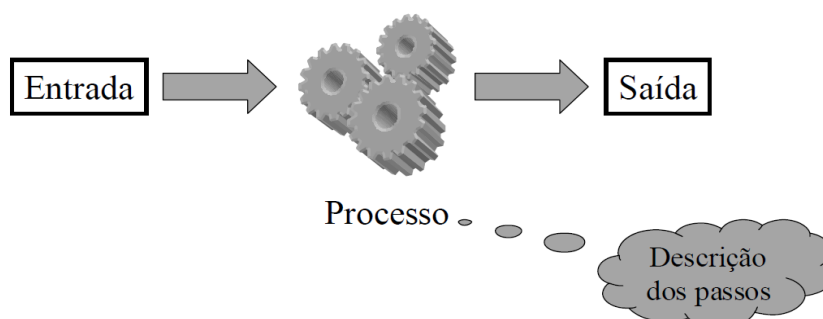


Figura 26: Diagrama explicativo de algoritmo.
Fonte: Alves(2011).

⁸ Definição retirada de: Merriam Webster Collegiate Dictionary, 10.Ed., 1995, Springfield, Mass. PP 28.

6.1.2. ARQUITETURA ALGORITMICA

A arquitetura algorítmica consiste em um método onde o projeto arquitetônico é visto como um problema a ser solucionado. Dessa forma, para resolver esse problema deve-se fazer uso de um conjunto de operações lógicas. Essas podem ou não ser implementadas por computador (TERZIDIS, 2006, p. 37).

Segundo essa abordagem a elaboração de um projeto é feita a partir de um banco de dados, que pode ser composto por números, cálculos, relações matemáticas ou mesmo de objetos paramétricos. Dessa forma, cada objeto gerado pelo algoritmo é denominado *output*, ou seja, é resultado da inserção prévia de dados correspondentes. Outro aspecto dessa abordagem é que os *outputs* podem ser utilizados para alimentar o banco de dados como inputs originando novos outputs (KHABAZI, 2009, p. 3-4).

Existe uma tendência em confundir o uso de ferramentas CAD com o resultado de uma ação computacional. No entanto, a computação ocorre de fato apenas quando há aplicação de procedimentos lógicos para se resolver um dado problema.

A incorporação das ferramentas computacionais ao processo de projeção envolve o desenvolvimento de uma estratégia para solucionar problemas. O uso dos computadores pode auxiliar na resolução tanto de problemas que estão completamente definidos como daqueles que o arquiteto não caracterizou ou definiu totalmente.

Uma característica da arquitetura algorítmica é a possibilidade de, partindo de um pequeno conjunto de informações e de regras lógicas preestabelecidas, derivar uma grande quantidade de soluções (MCCORMACK, DORIN e INNOCENT, 2004, p. 6), conforme mostra a Figura 27, a seguir.

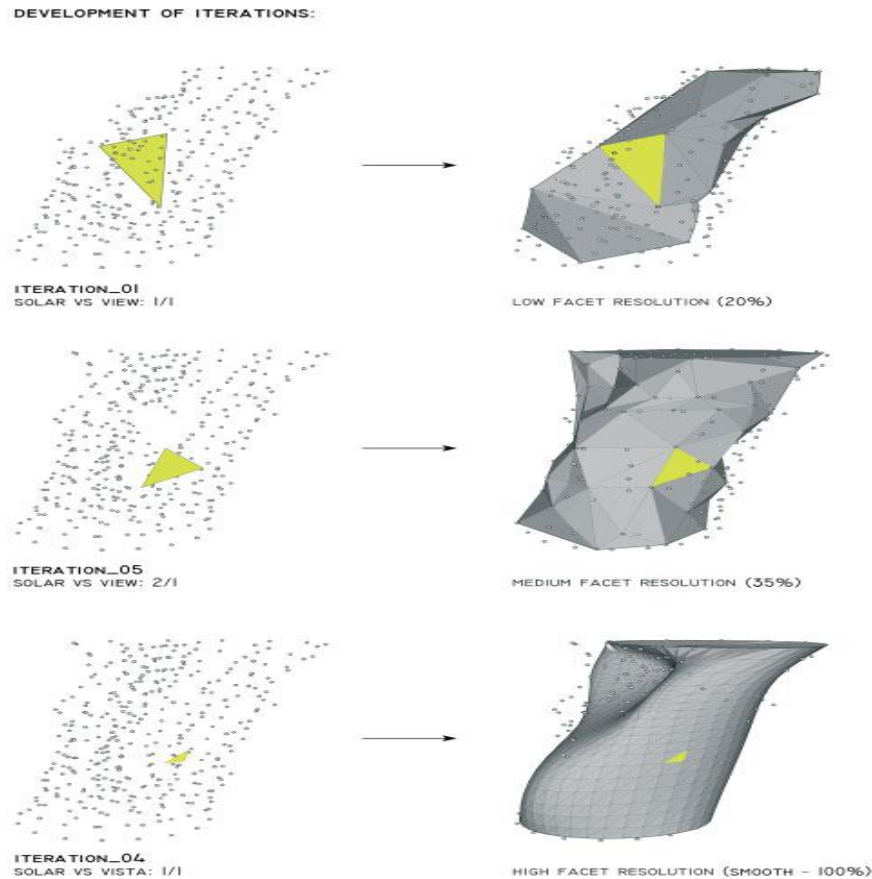


Figura 27: Variabilidade formal obtida a partir da inserção de novos dados ao sistema.
Fonte: Ottchen (2009)

O uso de algoritmos em arquitetura consiste em ganho significativo para o processo projetivo. Os algoritmos possuem um potencial generativo que possibilita o surgimento de soluções inesperadas para uma dada questão. Além disto, eles são capazes de apresentar respostas satisfatórias para problemas que não estão completamente definidos (FRAZER, 1995, p. 58).

A utilização de algoritmo não está limitada ou condicionada ao uso do computador. Na realidade a arquitetura tem feito uso desse tipo de gerenciamento de dados mesmo antes da invenção do computador. As regras e instruções, utilizadas para definir um templo grego ou as Vilas de Palladio em sua essência são algoritmos. Desse modo a invenção das máquinas veio incrementar a aplicação dessas práticas. (TERZIDIS, 2006, p. 17.)

A integração do computador no processo de projeto veio expandir e mudar a forma como o arquiteto trata com a problemática projetual. A arquitetura algorítmica surgiu como uma forma consistente de gerar e criar múltiplas soluções

arquitetônicas em um curto espaço de tempo e a partir de um conjunto pequeno de informações. Este método possibilita que o profissional gerencie inúmeras variáveis, determinando arquiteturas a partir dos *inputs* e *outputs* de um algoritmo.

6.2. USO E APLICAÇÕES DA ARQUITETURA ALGORITMICA

O projeto de arquitetura pode ser interpretado como sendo o resultado de operações lógicas referentes a um determinado conjunto de elementos formais com o objetivo de atender a uma necessidade arquitetônica. Essa abordagem foi desenvolvida por William Mitchell em sua obra “A lógica da arquitetura”. Nesse livro ele desvenda os mecanismos que agem sobre o processo de projeção, ao mesmo tempo em que desenvolve a idéia do projeto como um procedimento lógico. (MITCHELL, 2008, p. 190.)

A arquitetura algorítmica contribui para modificar os processos de projeção. Trata-se de um método em que cada elemento arquitetônico é gerado gradativamente através de múltiplas hierarquias. A cada nível, os parâmetros desses elementos podem ser extraídos e utilizados para gerar novos elementos em outro nível hierárquico. Esse processo se repete seqüencialmente até que toda a geometria seja definida. Essa abordagem projetual através de um algoritmo possibilita que o arquiteto lide com uma grande quantidade de dados e relações. Exige que o profissional mude seu enfoque da produção de formas para produção de relações e processos generativos. (KHABAZI, 2009, p. 4.)

O emprego de algoritmos no processo de projeção oferece liberdade ao arquiteto. Através da arquitetura algorítmica o profissional passa a se relacionar diretamente com o computador, fazendo uso de algoritmos para especificar o problema a ser solucionado. Nessa abordagem o arquiteto deixa de operar um software específico, que geralmente impõe limitações a expressão da arquitetura pretendida. Em geral cada sistema CAD oferece um determinado tipo de ferramentas que nem sempre são suficientes para atender as expectativas projetuais do arquiteto. (TERZIDIS, 2006, p. 59.)

Ao fazer uso da arquitetura algorítmica, passa-se a ter um instrumento capaz de proporcionar uma experiência projetual exploratória. Nesse processo, o arquiteto

se depara com inúmeras soluções arquiteturais que emergem a partir de relações formais, estéticas, ambientais e sociais (CELANI, PUPO, *et al.*, 2005, p. 502). Elas podem também surgir de especulação feita a partir de um problema que não está totalmente caracterizado. Dessa forma, eventuais soluções passam a ser parte do processo projetivo em si.

No projeto algorítmico a solução arquitetônica é mais que uma abstração ou resultado de um ato lúdico e subjetivo. Nesse método o arquiteto deve explicitar as relações e elementos que definirão a arquitetura. A subjetividade do processo se configura através da escolha do tipo de componentes e inter-relações que serão implementados no sistema computacional. Desse modo o arquiteto continua sendo autor do projeto. Essa autoria continua garantida mesmo quando o problema é definido ao longo do processo, pois é o componente humano que levanta o problema, vislumbra e implementa as soluções formais.

O uso da arquitetura algorítmica neste trabalho consistirá na definição de especificações que determinarão como os componentes arquitetônicos se combinarão a fim de constituir o projeto de uma residência. Ao mesmo tempo verificaremos como essas relações podem resultar em soluções formais diversificadas.

7. METODOLOGIA DE PESQUISA

Neste capítulo apresentaremos os procedimentos metodológicos e os materiais utilizados para o desenvolvimento desse trabalho.

No sentido de procedermos a verificação da hipótese apresentada nesta dissertação, optamos por fazer a aplicação direta dos sistemas generativos selecionados (gramática da forma, projeto paramétrico e arquitetura algorítmica) no processo de projeção de uma residência unifamiliar.

A princípio aplicaremos os métodos selecionados para desenvolver o projeto dessa residência até o nível de projeto executivo. No entanto em decorrência dos prazos estabelecidos para a conclusão do mestrado optamos por concentrar a aplicação dessas ferramentas metodológicas na definição de um universo de configurações de plantas baixas. Neste sentido, a partir do universo de soluções obtidas, escolheremos um desses elementos e o modelamos parametricamente. Dessa forma aplicamos algumas variações paramétricas sobre o modelo conseguindo assim novas soluções formais para o programa de necessidades proposto.

Após a aplicação desses sistemas verificamos os resultados e apontamos as contribuições que esses métodos trouxeram ao processo projetual desse tipo de edificação. Nos itens a seguir serão discutidas as etapas utilizadas para a realização do experimento.

7.1. LEVANTAMENTO TEÓRICO E PROBLEMATIZAÇÃO

A primeira etapa desta pesquisa consistiu em estudos relativos ao emprego de ferramentas computacionais aplicados a arquitetura. Dessa forma revisamos a literatura relativa ao uso de ferramentas computacionais no processo de projeção (MEREDITH e SASAKI, 2009, p. 6.).

Durante esta etapa de trabalho, observamos que, apesar de presentes na maioria das escolas e escritórios de arquitetura do Brasil, poucos são os profissionais que integram o computador ao processo projetual. O uso dessas tecnologias tem estado restrito apenas às tarefas de representação e documentação

dos projetos. Dessa forma, verificamos que existe um potencial latente no emprego eficiente dessas novas tecnologias. Principalmente no desenvolvimento projetual de residências unifamiliares.

Nesse contexto, definimos uma hipótese que afirma que o uso de ferramentas computacionais consiste em uma contribuição ao processo de projeção. Isso ocorre porque o uso de métodos projetuais auxiliados pelo computador possibilita a obtenção de um vasto universo de soluções arquitetônicas.

Nesse estudo, verificamos que os sistemas generativos exercem papel central ao fornecer fundamentação teórica às práticas de projeto implementadas por computador. Dentre os sistemas generativos verificamos que a Gramática da Forma, o Projeto paramétrico e a Arquitetura Algorítmica são as abordagens que mais se adéquam ao desenvolvimento da pesquisa proposta.

A escolha dessas três abordagens se deu pelo fato de que elas apontam para novas formas de lidar com as questões de projeto. Assim o resultado consiste em uma alteração na relação do profissional com o objeto projetado.

A escolha da gramática da forma, do projeto paramétrico e da arquitetura algorítmica foi feita devido a possibilidade de podermos aplicar os três métodos concomitantemente ao processo de projeção de uma residência unifamiliar.

7.2. O PROGRAMA DE NECESSIDADES

O programa de necessidade que definimos consiste em uma unidade habitacional unifamiliar de cinquenta e quatro metros quadrados⁹, composta pelos seguintes cômodos:

- a) Quarto 1 – 12,00 m²;
- b) Quarto 2 – 9,00 m²
- c) Sala de estar e jantar: 20,00 m²
- d) Cozinha – 10,00 m²
- e) Banheiro social – 2,00 m²

⁹ Para efeito de estudo todos os espaços foram considerados como tendo pé-direito de 3,00m.

f) Hall – 1,00 m²

Esse programa foi definido com base na cartilha do programa habitacional do governo federal Minha Casa Minha Vida¹⁰ que estabelece esses ambientes para a tipologia I, que corresponde a unidade de menor área (trinta e cinco metros quadrados). Apesar de fornecer, além dos espaços mínimos, a dimensão de uma unidade padrão neste trabalho, optamos por trabalhar com dimensões maiores para que pudessemos verificar melhor o efeito dos sistemas generativos no processo de projeção desse tipo de edificação.

7.3. APLICANDO OS MÉTODOS

A partir desse programa de necessidades, definimos como aplicar a gramática da forma, o projeto paramétrico e arquitetura algorítmica no projeto de uma residência unifamiliar. No sentido de verificarmos como cada um desses métodos contribuiu para o procedimento projetual, resolvemos aplicá-los em etapas específicas do processo como demonstraremos nos itens a seguir.

7.3.1. A GRAMÁTICA DA FORMA E O ALGORITMO

A gramática da forma e a arquitetura algorítmica foram aplicadas em conjunto. A gramática foi utilizada em duas etapas. A primeira foi usada para a definição de um vocabulário de formas e para gerar um universo de soluções. O algoritmo foi empregado para definir as regras e as relações que combinarão os elementos do conjunto inicial de formas.

No vocabulário adotado, cada forma corresponde a um dos cômodos estabelecidos pelo programa de necessidades. Dessa forma, os recintos da casa serão representados, nessa etapa, por uma entidade bidimensional correspondente. Assim, cada forma possuirá as dimensões do espaço que representa garantindo que as soluções encontradas obedeçam a uma relação de escala. A fim de facilitar a visualização da localização de cada componente nas soluções geradas os

¹⁰ Trata-se de um programa habitacional lançado no ano de 2008 pelo governo brasileiro com o objetivo de inicialmente construir um milhão de unidades habitacionais priorizando famílias com renda de até três salários mínimos.

elementos foram representados por cores específicas como mostramos na Figura 28, abaixo.

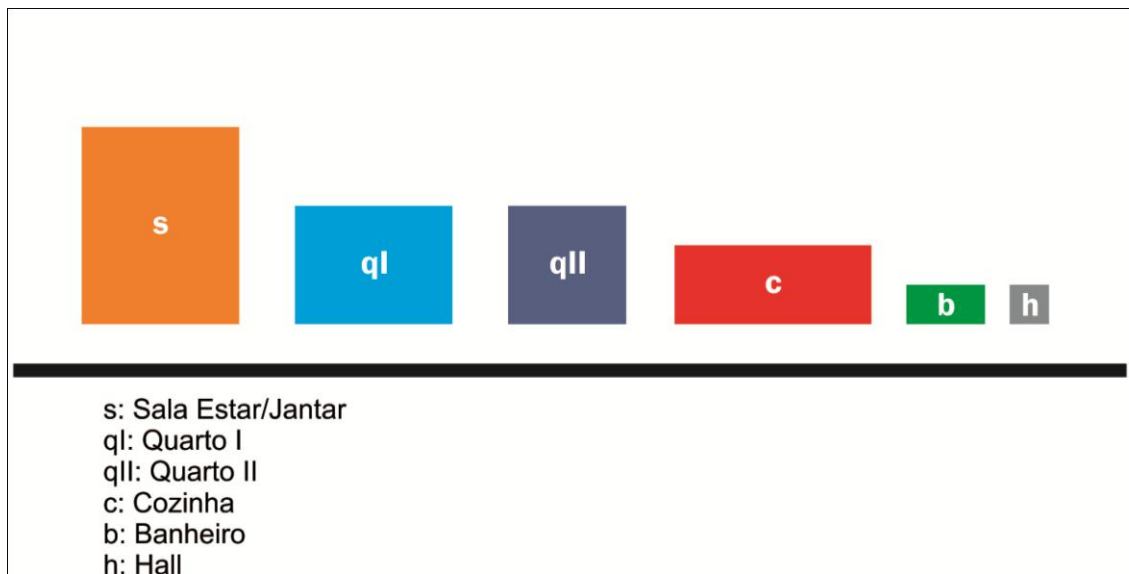


Figura 28: Vocabulário de formas.
Fonte: Alves (2011).

Uma gramática da forma, no sentido de gerar um conjunto de soluções, precisa de especificações que irão determinar como as formas do vocabulário serão agrupadas para originar uma determinada instância. Nesse trabalho as regras da gramática foram descritas como um algoritmo, no qual cada especificação origina uma única combinação.

Durante o experimento verificamos que a quantidade de combinações possíveis entre os elementos do vocabulário eram imensas. Em razão deste fato resolvemos estabelecer critérios, que além de diminuir o número de resultados, pudessem produzir elementos que realmente pudessem se constituir numa residência. Nesse sentido, estabelecemos dois critérios de geração das regras de distribuição espacial dos cômodos, que são demonstrados a seguir:

- a) Que os cômodos de mesma função fossem mantidos próximos garantindo que espaços e usos diferentes não se misturassem;
- b) Que todos os cômodos, excetuando-se o hall, possuíssem pelo menos um dos lados voltados para o exterior.

Essas duas exigências determinam como os elementos serão agrupados para se constituírem em uma composição de planta baixa. Apesar de ser um número

pequeno de especificações, apenas duas, ainda é possível derivar uma quantidade expressiva de regras.

Neste trabalho dentro do universo de regras possíveis optamos por utilizar dezessete. Essas regras foram agrupadas em quatro famílias de relações espaciais que definem como dois elementos do vocabulário devem ser combinados entre si. Essas especificações foram definidas da seguinte forma:

- a) Família de relação espacial I: estabelece as combinações entre a sala e o hall;
- b) Família de relação espacial II: estabelece as combinações entre a sala e a cozinha;
- c) Família de relação espacial III: estabelece as combinações entre o hall e o banheiro;
- d) Família de relação espacial IV: estabelece as combinações entre o hall e os dois quartos.

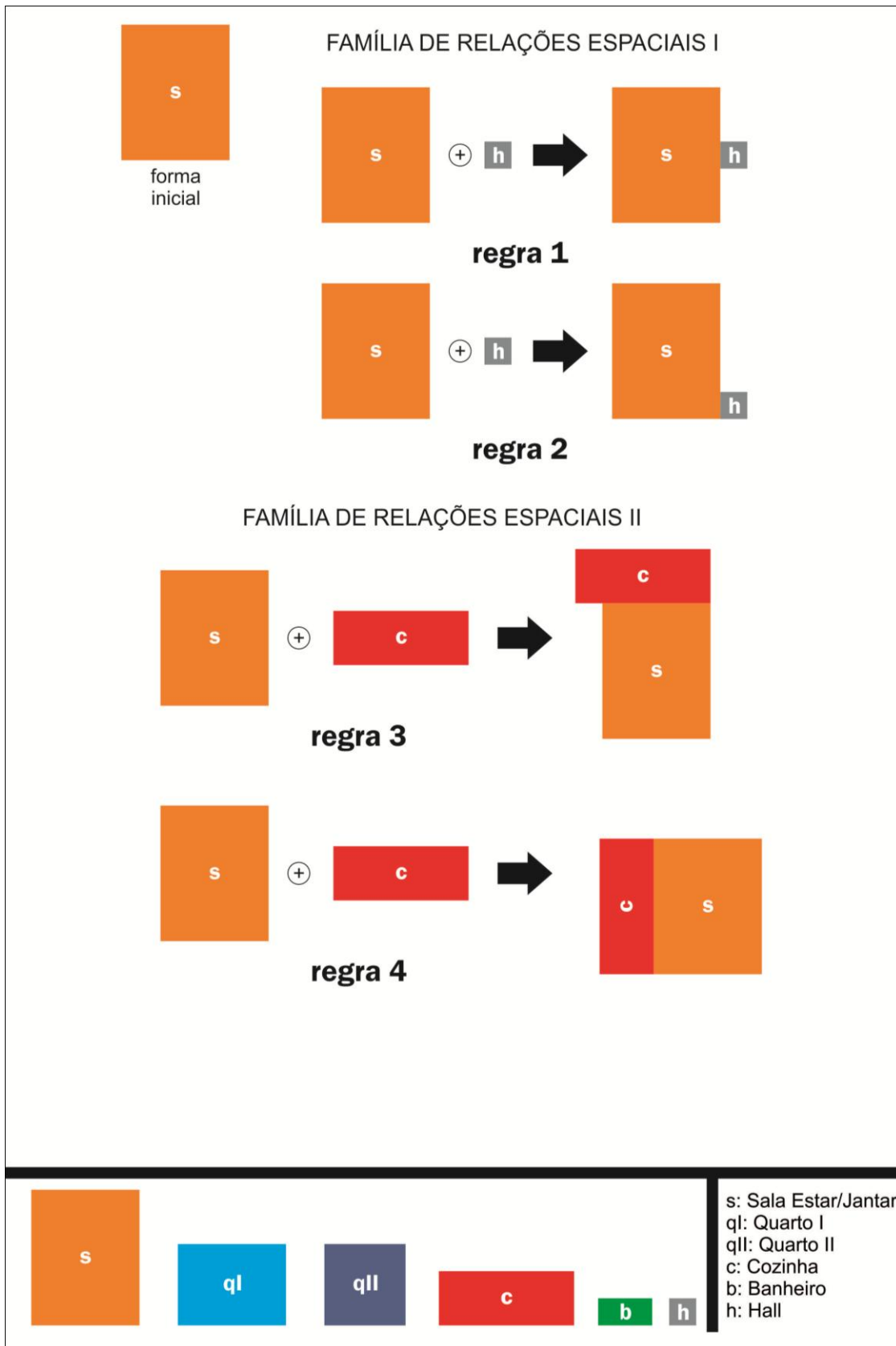


Figura 29: Família de relações I e II.
 Fonte: Alves (2011).

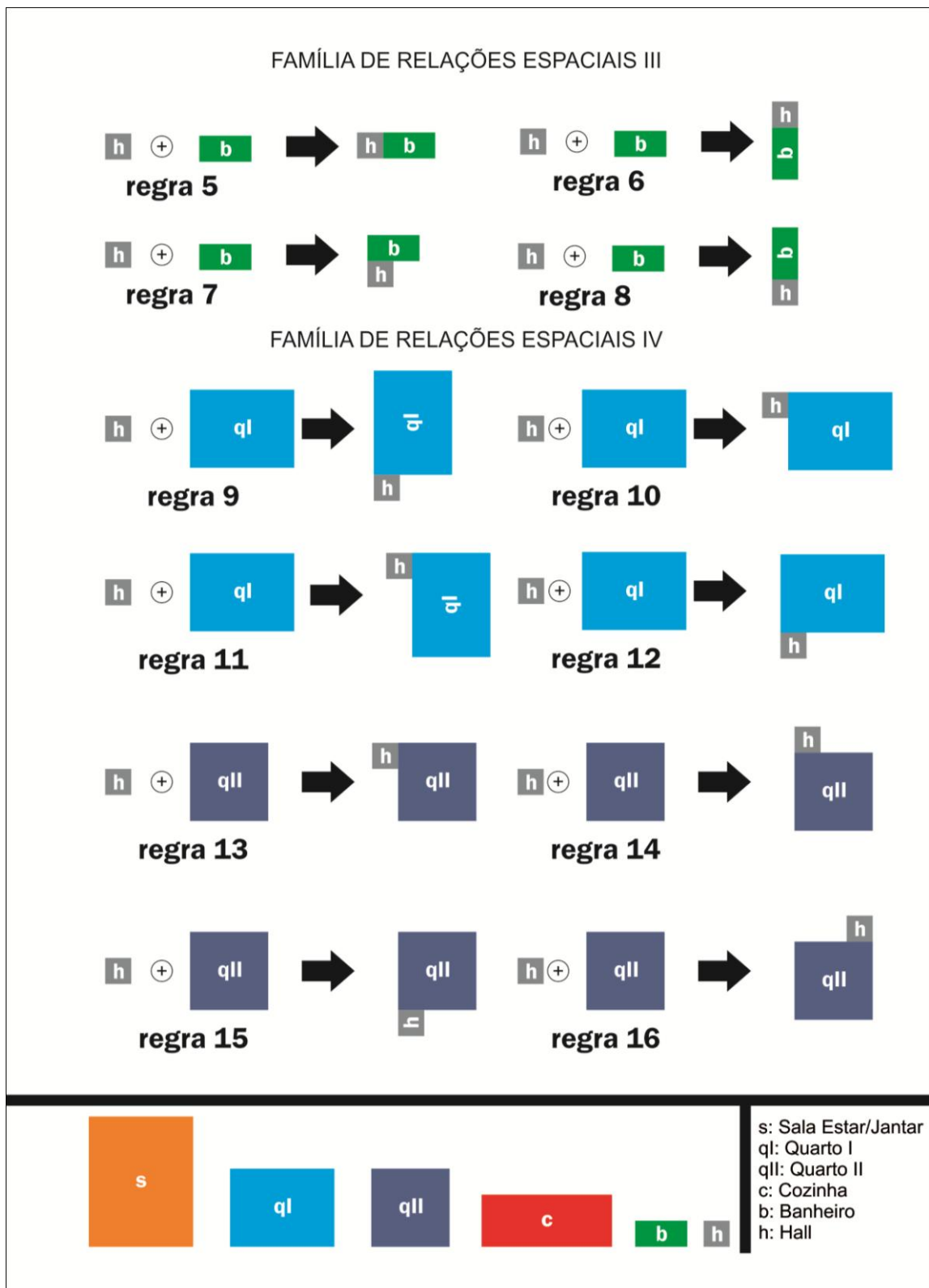


Figura 30: Família de relações III e IV.
 Fonte: Alves (2011).

Nas Figura 29 e Figura 30 foram apresentados o vocabulário de formas e as regras que definem as relações espaciais de agrupamento dos elementos que compõe o vocabulário formal. Como mencionado anteriormente o vocabulário é composto por símbolos visuais que correspondem a cada um dos cômodos da residência. Esses símbolos serão agrupados de acordo com as regras definidas a partir dos critérios de distribuição mencionados anteriormente.

Após a definição do vocabulário inicial (Figura 28, p. 48) e do conjunto de regras (Figura 29, p.50 e Figura 30, p. 51) passamos a inserir alguns elementos e algumas especificações novas ao sistema, o que resultou em novas instâncias. Dessa forma podemos testar o potencial generativo da Gramática da Forma desenvolvida.

Devido ao fato de que cada elemento do vocabulário corresponde a um cômodo, o agrupamento desses componentes resulta em diversas configurações de plantas baixas. Esses resultados foram apresentados de duas maneiras, sendo a primeira através da representação bidimensional da composição visual dos elementos do vocabulário que correspondem aos espaços da unidade habitacional.

O segundo tipo de representação, dos resultados obtidos através da gramática nessa etapa, foi por meio da extrusão tridimensional dessas composições. Dessa forma foi possível avaliar melhor os resultados apresentados. Deve-se ainda considerar que a visualização tridimensional dos espaços permite uma percepção da configuração dos espaços mais próxima da realidade.

A partir desse conjunto de soluções escolhemos uma que foi modelada parametricamente. Assim, a partir da modificação dos parâmetros do modelo foi possível obter novas variações do objeto selecionado.

7.3.2. O PROCESSO E A PARAMETRIZAÇÃO

A parametrização nesse trabalho foi utilizada para gerar um modelo partir de uma das configurações de plantas baixas geradas pela gramática. Dessa forma foi possível realizar variações nos parâmetros que definiram a proposta escolhida, o que resultou em novas instâncias.

No tocante a execução dessa etapa, tomamos como base uma das derivações dentre as soluções obtidas. Nesse processo cada elemento do vocabulário foi representado por um bloco, cujas medidas correspondem às dimensões de largura, comprimento e altura.

A proposta escolhida para ser parametrizada foi a Derivação II (Figura 31). Optamos por essa solução porque podemos perceber facilmente os critérios de combinação que originaram as regras da gramática. Estes critérios determinavam que os espaços de mesmo uso fossem mantidos próximos um do outro e que todos os cômodos, com exceção do hall, possuíssem pelo menos uma fachada voltada para o exterior.

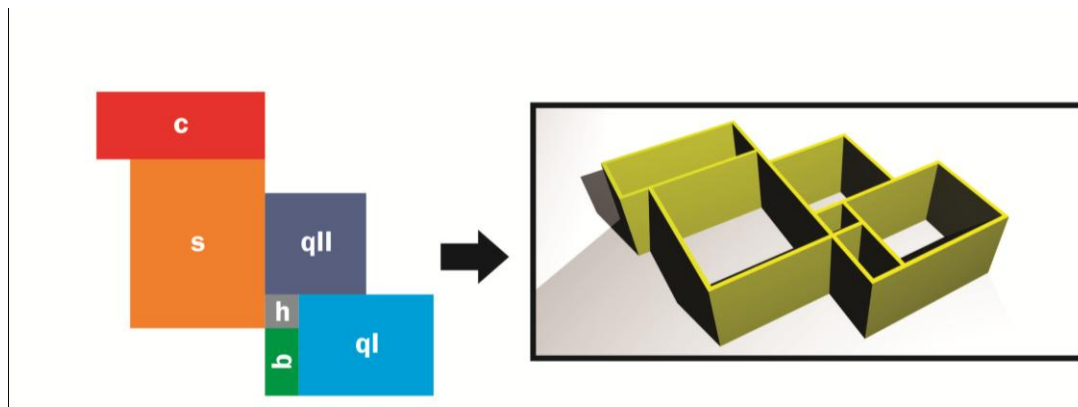


Figura 31: Derivação II e extrusão tridimensional.
Fonte: Alves (2011).

Assim, fizemos uso de cores para possibilitar uma melhor visualização dos resultados obtidos na etapa anterior. Adotamos a mesma notação de cores no modelo parametrizado, dessa forma foi possível saber a posição de cada espaço no conjunto (Figura 32).

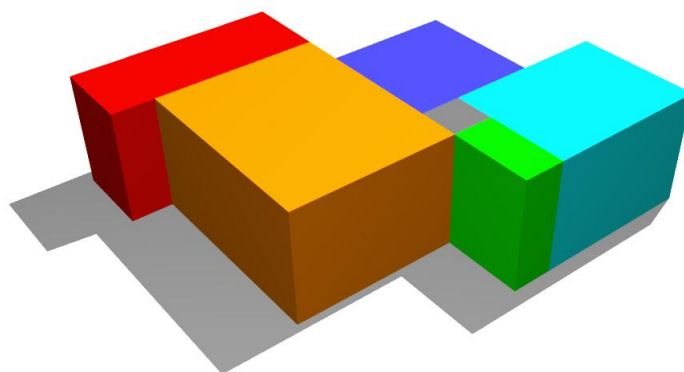


Figura 32: Modelo parametrizado da Derivação II.
Fonte: Alves (2011).

No sentido de permitir verificar o potencial do uso da parametrização para o desenvolvimento desse processo foram executadas as seguintes operações paramétricas:

- a) Variação de parâmetros, mas com a manutenção da área inicial de projeto (56,00m²);
- b) Variação de parâmetros, com aumento da área;
- c) Inserção e/ou remoção de parâmetros;
- d) Combinações em que os espaços foram dispostos em dois pavimentos (térreo e superior).

Ao término da execução dessas variações começamos a fazer alguns estudos nos quais distribuimos algumas das instâncias resultantes ao longo de uma circulação vertical. Dessa forma foi possível verificar como as unidades se comportariam se eventualmente ao invés de unidades habitacionais optássemos por uma edificação de múltiplos pavimentos.

7.4. OS SOFTWARES E EQUIPAMENTOS UTILIZADOS

Os aplicativos utilizados no processo de projeção da unidade habitacionais proposta foram o *Rhinceros* e o seu *plugin Grasshopper*. Esses dois softwares foram aplicados para que pudéssemos fazer uso do projeto paramétrico. Além desses sistemas ainda fizemos uso do *Corel Draw XV* para a manipulação e confecção das imagens apresentadas nesta dissertação. A seguir falaremos de

forma mais detalhada do Rhinoceros e do Grasshopper, por terem possibilitado o emprego da arquitetura algorítmica e do projeto paramétrico neste trabalho.

7.4.1. RHINOCEROS

A versão utilizada neste trabalho foi: Rhino 4.0 SR9. Este programa foi desenvolvido a partir de dois softwares o AccuModel e o Sculptura. O AccuModel foi um software desenvolvido em Maio de 1992, pela Robert McNeel & Associates por encomenda para a Applied Geometry (AG). Esse programa foi desenvolvido para ser integrado ao AutoCAD¹¹, permitindo que os usuários desse software pudessem trabalhar com formas NURBS¹². Ainda neste ano a McNeel & Associates contratou o engenheiro de software Michael Gibson que trouxe ao projeto o Sculptura, um modelador de meshes (malha). Em julho de 1993 foi desenvolvido o Sculptura 2 que naquele momento já possibilitava trabalhar com NURBS. Em Novembro de 93 o Sculptura dois foi apelidado de Rhinoceros e em Abril de 1994 foi lançada a primeira versão pública do Rhino. De 1994 a 1998 (de lançamento do *Rhino version 1.0*), divergências comerciais com a AG permitiram que a McNeel abandonasse o desenvolvimento de aplicativos para o AutoCAD e passasse a se concentrar na criação de modelador próprio baseado no AccuModel e no Sculptura(MCNEEL, 2011).

O Rhinoceros é um modelador de sólido que permite editar, analisar, documentar, renderizar, animar e trabalhar com curvas NURBS, superfícies e sólidos sem restrição de complexidade ou tamanho. O Rhino, como é conhecido pelos usuários, possibilita ainda que se trabalhe com *meshes* (malhas) e *point clouds* (nuvem de pontos). Dentre as principais vantagens relativas ao uso desse aplicativo podemos citar:

- a) Produção de objetos e modelos com grande precisão não importando o tamanho das peças projetadas;

¹¹ Autodesk AutoCAD é uma das ferramentas CAD mais utilizadas pelos profissionais de arquitetura principalmente para desenvolver a parte de documentação (plantas, cortes e fachadas) do projeto.

¹² NURBS é sigla para: *Non Uniform Rational Basis Spline*. Um NURBS consiste em uma representação matemática de uma geometria tridimensional que pode descrever de forma precisa qualquer forma a partir de uma linha bidimensional, um círculo, uma curva ou de forma orgânicas tridimensionais mais complexas (MCNEEL, 2011).

- b) Gera arquivos fáceis de compatibilizar com outros aplicativos e softwares CAD, com equipamentos CAM, programas de ilustração, etc;
- c) Fácil personalização, pois pode ser adaptado às necessidades específicas de projeto através do uso de linguagens de programação tais como a C++, VBA ou o *Rhinoscript* (linguagem interna do Rhino);
- d) Interface amigável e similar a adotada pelo AutoCAD, facilitando o aprendizado para o usuário que já tenha tido um contato prévio com alguma ferramenta CAD (Figura 33).

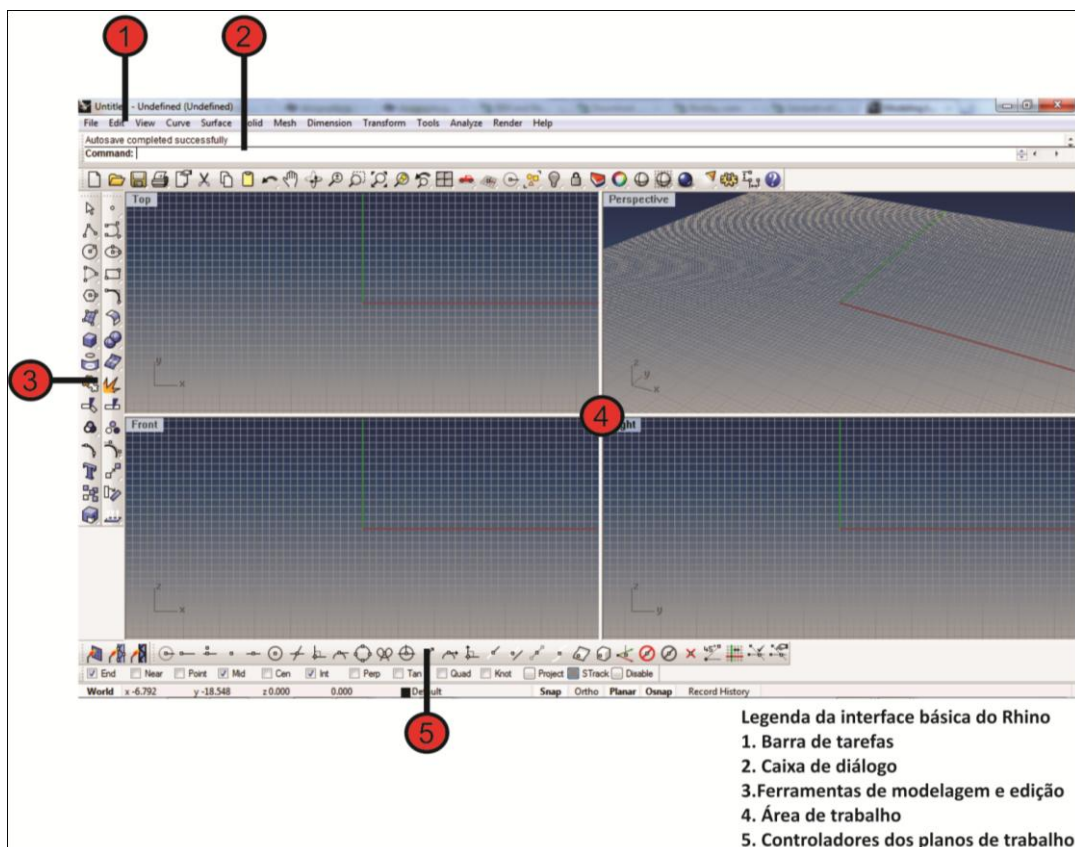


Figura 33: Interface do Rhinoceros.
 Fonte: Alves (2011).

O Rhinoceros foi empregado neste trabalho para que visualizássemos os resultados apresentados após as operações realizadas através de seu *plugin* o Grasshopper. Isso ocorreu, por que a modelagem foi realizada no *plugin* e não no Rhino. A escolha desse aplicativo foi feita devido ao fato do Rhino possibilitar a utilização do Grasshopper. A seguir falaremos como esse programa foi usado para a aplicação do projeto paramétrico.

7.4.2. GRASSHOPPER

O Grasshopper é uma linguagem visual de programação desenvolvida por David Rutten na Robert Mcneel & Associates. Foi criado para ser aplicado no Rhinoceros como um *plugin*. Neste aplicativo os programas são criados ao se arrastar os componentes sobre a tela. Cada componente possui um *output* e um *input*, que são conectados de forma sucessiva resultando em uma geometria tridimensional (Figura 34).



Figura 34: Componentes conectados através de seus inputs e outputs
Fonte: http://aecmag.com/index.php?option=com_content&task=view&id=293&Itemid=32

O Grasshopper é utilizado na maior parte das vezes para criar algoritmos generativos. Está atualmente em fase de desenvolvimento e se encontra na versão 0.8.0004 (versão utilizada nesta pesquisa), sendo oferecido para download em sua versão completa gratuitamente no site, <http://www.grasshopper3d.com/>. Esse site disponibiliza ainda tutoriais e informações teóricas referentes ao programa, a sistemas generativos e arquitetura algorítmica. Trata-se de uma rede social de usuários de Grasshopper que podem trocar suas experiências.

A maior vantagem no uso dessa ferramenta é fato de possibilitar que os usuários que não estejam familiarizados com linguagem de programação tradicional (tais como: C, C#, VBA, etc) possam desenvolver projetos a partir de um algoritmo generativo. A interface do Grasshopper é apresentada na Figura 35, a seguir.

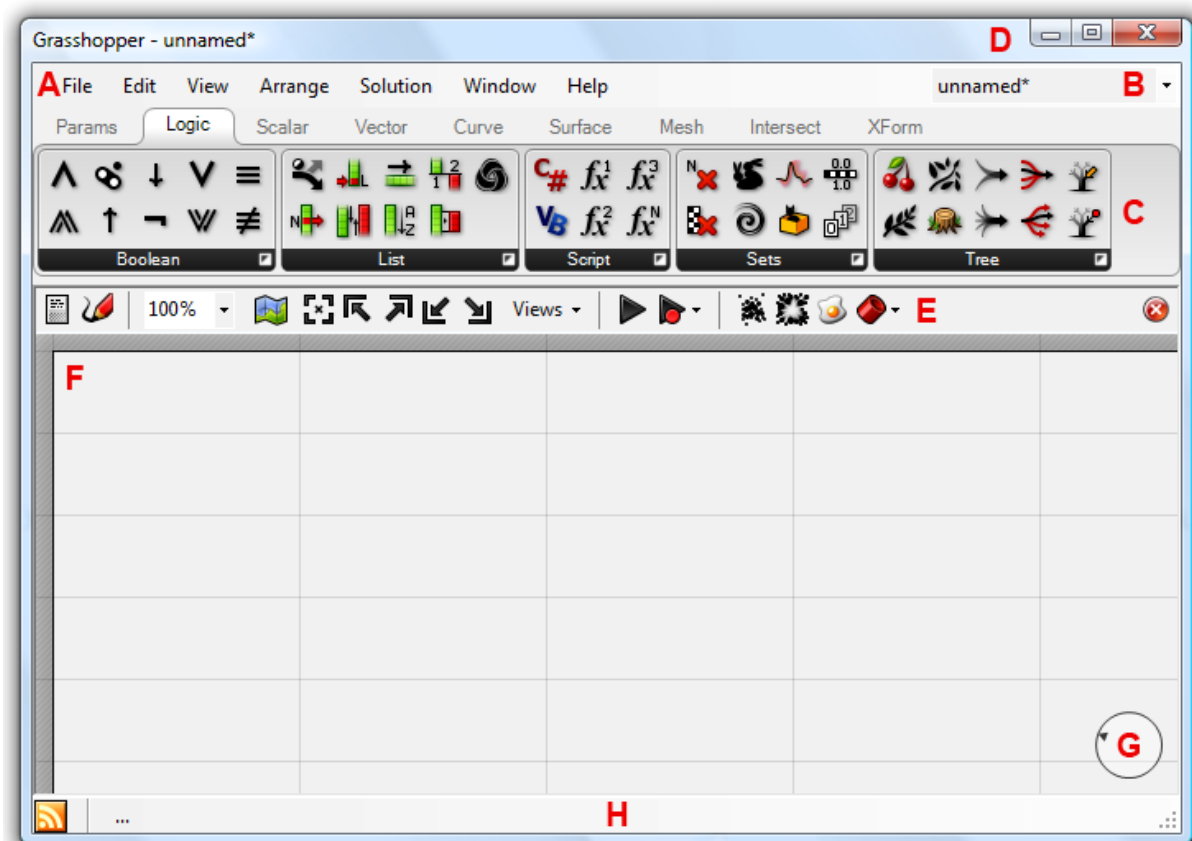


Figura 35: Interface do Grasshopper
 Fonte: Payne e Issa (2009)

A – Barra de *menu* principal

B – Controle de arquivo e *browser*

C – Painel de componentes: agrupa as diversas categorias de componentes

D – Barra de título ou nome do projeto desenvolvido

E – Barra de ferramentas da tela: concentra todas as ferramentas de controle da tela de trabalho

F – A tela de trabalho

G – Compasso: ferramenta que permite localizar os elementos posicionados ao longo da tela de trabalho

H – Barra de *Status*: fornece informação sobre os elementos selecionados na área de trabalho.

Tabela 1 – Interface básica do Grasshopper
 Fonte: Payne e Issa, modificado por Alves (2011).

No sentido de melhor explicarmos como funciona esse aplicativo vamos descrever os dois principais tipos básicos de objetos do Grasshopper, os parâmetros e os componentes. A maior diferença entre esses dois tipos de elementos é que os parâmetros contêm informações (ou seja, armazenam dados), enquanto os componentes contêm ações (ou seja, os componentes realizam ações) (PAYNE e ISSA, 2009, p. 8). A Figura 36, abaixo, mostra alguns dos tipos de objetos que podemos encontrar no Grasshopper e as notações de cores que são utilizadas para alertar sobre a coerência dos dados contidos nos objetos.

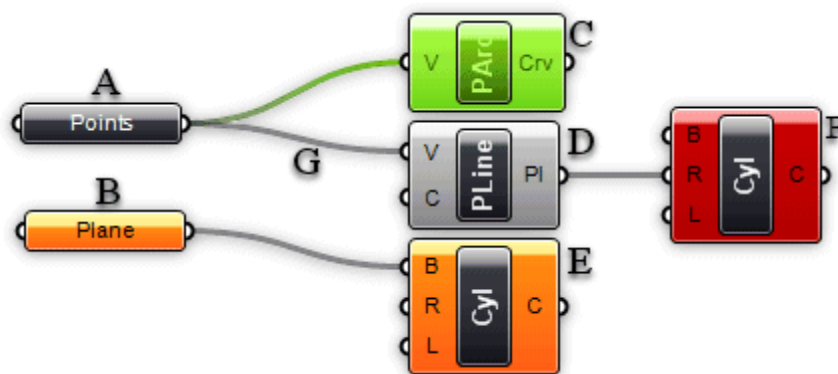


Figura 36: Componentes e parâmetros do Grasshopper
 Fonte: Payne e Issa (2009)

- A – Parâmetros que possuem dados e não contêm erros se apresentam sua caixa com a cor preta
- B – Parâmetros sem dados são apresentados na cor laranja indicando que não possuem nenhuma informação
- C – Componente selecionado
- D – Componente normal sem conflitos de dados ou sem estar selecionado
- E – Componentes que possuem algum problema ou conflito de informação aparecem em laranja alertando o usuário
- F – Sempre que a caixa do componente aparecer em vermelho indica que esse elemento contém um erro
- G – Um conector que serve para ligar os diversos parâmetros entre si

Tabela 2 – Visualização dos componentes no GH
 Fonte: Payne e Issa, modificado por Alves (2011).

Um componente geralmente requer uma determinada informação para que ele possa realizar uma ação acompanhada de um resultado. Isto ocorre porque os componentes agrupam em si um conjunto de parâmetros que são os *inputs* e os

outputs. Os *inputs* são posicionados no lado esquerdo, enquanto os *outputs* se localizarão no lado direito, como mostrado na Figura 37, abaixo (PAYNE e ISSA, 2009, p. 12).

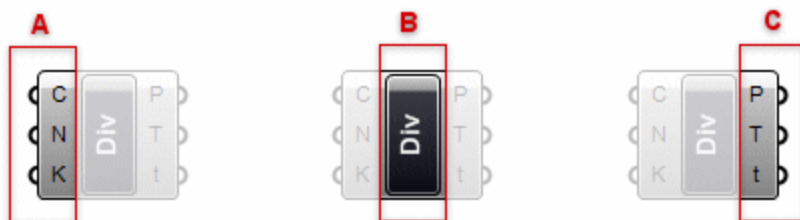


Figura 37: Partes de um componente
Fonte: Payne e Issa (2009)

A – Os três parâmetros são de *input* referentes ao componente *Division.*, e Os parâmetros possuem nomes curtos que podem ser renomeados de acordo com a necessidade do usuário.

B – Área central do componente (geralmente contém o nome do componente).

C – Os três parâmetros *output* correspondentes ao parâmetro *Division.*

Tabela 3 – Partes que compõe um componente
Fonte: Payne e Issa, modificado por Alves (2011).

7.4.3. EQUIPAMENTO UTILIZADO

A realização dessa pesquisa contou com o uso de um notebook Acer Aspire modelo 5738-6294 com a seguinte configuração:

- a) Sistema operacional Windows 7;
- b) HD de 320GB;
- c) 3GB de memória RAM DDR3;
- d) Processador Intel Core 2 Duo CPU T6600 2.2GHz.

8. O EXPERIMENTO E OS RESULTADOS

8.1. IMPLEMENTANDO A GRAMÁTICA DA FORMA

8.1.1. O VOCABULÁRIO FORMAL

O vocabulário de formas da gramática da forma é composto basicamente por retângulos e quadrados. Neste, cada um desses elementos corresponde a um dos cômodos definidos pelo programa de necessidades predefinido (da residência unifamiliar, estabelecido pelo programa do Governo Minha Casa Minha Vida). Todos os componentes do conjunto de formas possuem as mesmas dimensões do recinto que representam (ver Tabela 4). Dessa forma garantimos que as soluções obtidas pudessem ser utilizadas para a construção da edificação proposta.





CÔMODO	DIM(m)	ÁREA(m ²)	ELEMENTO FORMAL GRAMÁTICA
SALA DE ESTAR/JANTAR	5x4	20	
QUARTO I	4X3	12	
COZINHA	5X2	10	
QUARTO II	3X3	9	
BANHEIRO	2X1	2	
HALL	1X1	1	

Tabela 4 – Vocabulário inicial de formas aplicadas na gramática da forma.
Fonte: Alves (2011).

Tendo por objetivo verificar as potencialidades do uso da gramática da forma como sistema capaz de proporcionar a obtenção de soluções diversas, inserimos os seguintes elementos demonstrados na Tabela 5.

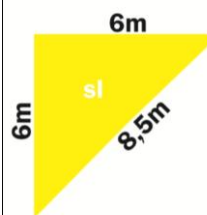


CÔMODO	DIM(m)	ÁREA(m ²)	ELEMENTO FORMAL GRAMÁTICA
SALA DE ESTAR/JANTAR I	6x6/2	18	
QUARTO III ¹³	4x3	12	
COZINHA I	3,5x2	7	

Tabela 5 – Formas novas a serem inseridas ao vocabulário inicial de formas.
Fonte: Alves (2011).

8.1.2. AS REGRAS

As regras estabelecidas para a aplicação da gramática foram constituídas de operações realizadas para agrupar os elementos do vocabulário de forma tal que as composições resultantes da aplicação correspondessem a um conjunto de configurações de plantas baixas.

O uso da gramática da forma possibilitou a criação de inúmeras regras de agrupamento dos símbolos do vocabulário resultando em uma grande quantidade de configurações. Dessa forma foi necessário estabelecermos critérios de agrupamento para que o número de resultados obtidos pudesse ser utilizado como composições espaciais de cômodos. Dessa forma essas soluções poderiam ser utilizadas como modelos de plantas baixas.

¹³ O elemento QIII pode ser considerado uma variação do elemento QII ou uma repetição de QI. No entanto para identificar melhor os resultados obtidos a partir da variação no vocabulário optamos por considerar QIII um elemento novo ao conjunto.

Antes de determinarmos os critérios de agrupamentos dividimos os espaços exigidos pelo programa de necessidades de acordo com as funções realizadas em cada recinto (conforme Figura 38, abaixo). As funções definidas foram: sociais (sala de estar e jantar); íntimas (quarto I e quarto II); serviços (cozinha); e de uso misto (*hall* e banheiro).

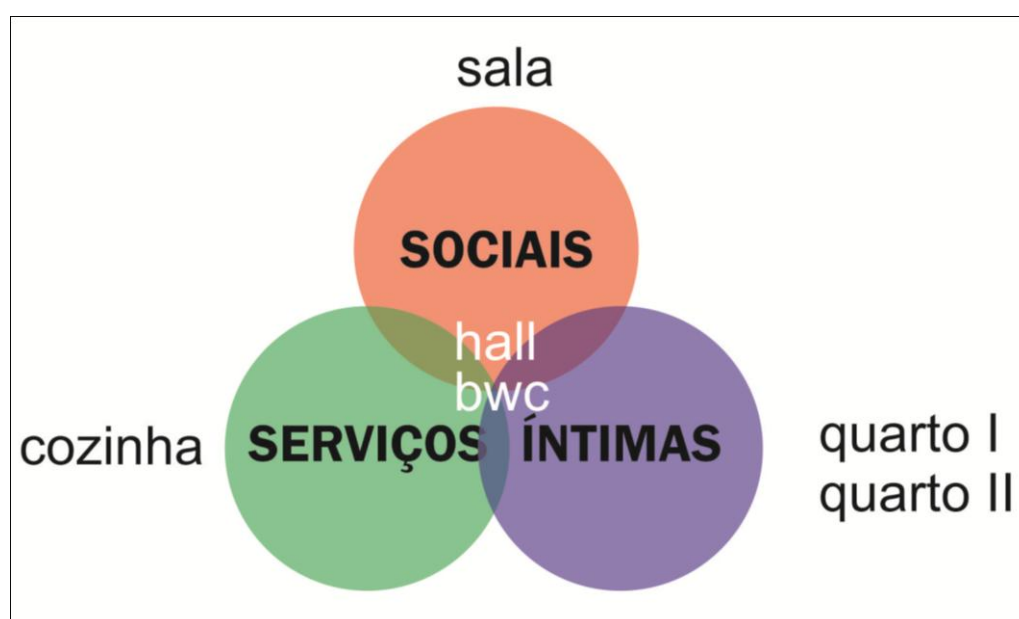


Figura 38: Diagrama de distribuição de funções e uso dos espaços.
Fonte: Alves (2011).

Essa distribuição de usos possibilitou que determinássemos o primeiro critério para a definição das regras de agrupamento de símbolos. Essa especificação consiste em:

- a) Que os cômodos de mesma função fossem mantidos próximos garantindo que espaços e usos diferentes não se misturassem.

O segundo critério de produção de regras foi estabelecido com o objetivo de que as combinações resultassem em organizações espaciais, em que os recintos pudessem receber esquadrias. Dessa forma definimos o segundo critério de geração de regras que determina:

- b) Que todos os cômodos possuam pelo menos um dos lados voltados para o exterior.

A partir desses dois critérios de produção de regras definimos um universo composto por vinte regras, em que dezesseis delas irão estabelecer combinações

para os elementos do vocabulário inicial de símbolos (Tabela 4, p. 69) e quatro que afetarão o segundo grupo de formas (Tabela 5, p. 70).

É importante salientar que essas regras foram escritas e descritas como um algoritmo. Assim, cada elemento α da relação $\alpha \rightarrow \beta$ corresponde a um *input*, enquanto os componentes representados em β correspondem a um *output*. Essa estrutura possibilita que se possa eventualmente usar as regras definidas para gramática como base para o desenvolvimento de software de produção de composição espacial.

8.1.2.1. DESCRIÇÃO DAS REGRAS DE COMBINAÇÃO DE CÔMODOS

Na gramática da forma adotada tomamos a sala de estar/jantar como símbolo inicial (Figura 39. **abaixo**). Esse espaço foi selecionado pelo fato dele se comunicar com os demais espaços da residência.

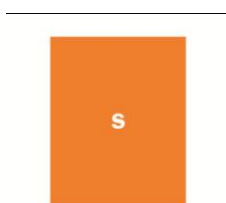


Figura 39: Forma inicial da gramática.
Fonte: Alves (2011).

Tendo em vista que mencionamos anteriormente, as regras de uma gramática da forma são descritas através de uma estrutura do tipo $\alpha \rightarrow \beta$. Em que para cada elemento α haverá um elemento ou uma resultante correspondente β .

A fim de possibilitar a aplicação sucessiva das regras sobre o símbolo inicial fizemos uso de um marcador nos componentes da esquerda e da direita. Dessa forma definimos onde e como o elemento da direita será inserido para gerar a composição. Esse mecanismo permitiu que fosse possível que direcionássemos os resultados, uma vez que a presença do marcador estabelece como as conexões entre os símbolos da gramática ocorrerão. A seguir demonstraremos as regras aplicadas à gramática da forma, assim como apresentaremos a sua forma gráfica.

FAMÍLIA DE RELAÇÕES FORMAIS I

Regra 1: Inserir *Hall*

Inserir o símbolo “*h*” no meio da face direita da sala, ao identificar o marcador posicionado no centro da sala resultando, na relação R1.



Figura 40: Regra 1 (R1)
Fonte: Alves (2011).

Regra 2: Inserir Hall

Inserir o símbolo “*h*” no canto inferior da sala, ao identificar o marcador posicionado no canto inferior direito da sala resultando, na relação R2.

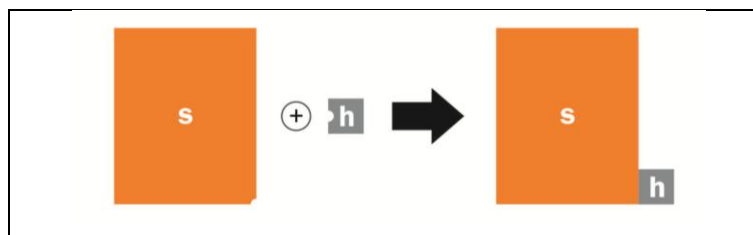


Figura 41: Regra 2 (R2)
Fonte: Alves (2011).

FAMÍLIA DE RELAÇÕES FORMAIS II

Regra 3: Inserir Cozinha

Inserir o símbolo “*c*” na face superior da sala, ao identificar o marcador posicionado no canto superior direito da sala resultando, na relação R3.

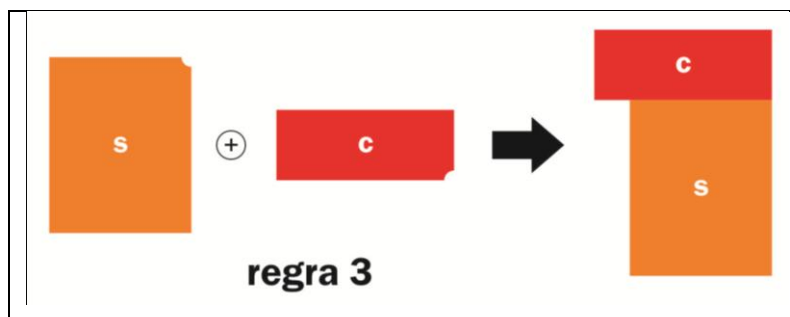


Figura 42: Regra 3 (R3)

Fonte: Alves (2011).

Regra 4: Inserir Cozinha

Inserir o símbolo “c” no centro da face esquerda da sala, ao identificar o marcador posicionado no canto superior direito da sala resultando, na relação R4.

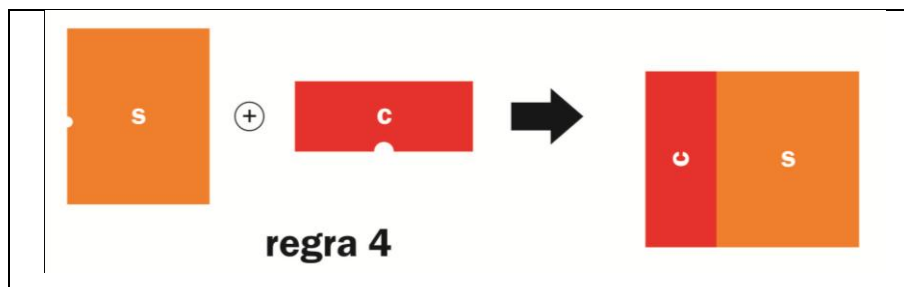


Figura 43: Regra 4 (R4)
Fonte: Alves (2011).

FAMÍLIA DE RELAÇÕES FORMAIS III

Regra 5: Inserir Banheiro

Inserir o símbolo “b” na face direita do hall, ao identificar o marcador posicionado na face direita do símbolo “h”, resultando na relação R5.

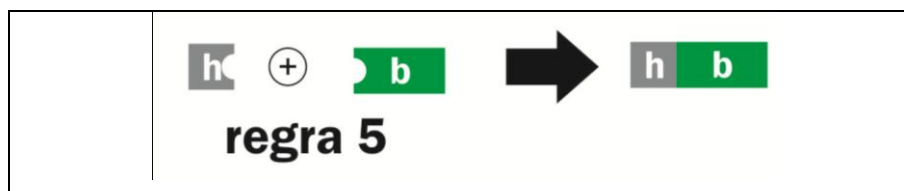


Figura 44: Regra 5 (R5)
Fonte: Alves (2011).

Regra 6: Inserir Banheiro

Inserir o símbolo “b” na face inferior do *hall*, ao identificar o marcador posicionado na face inferior do símbolo “h”, resultando na relação R6.

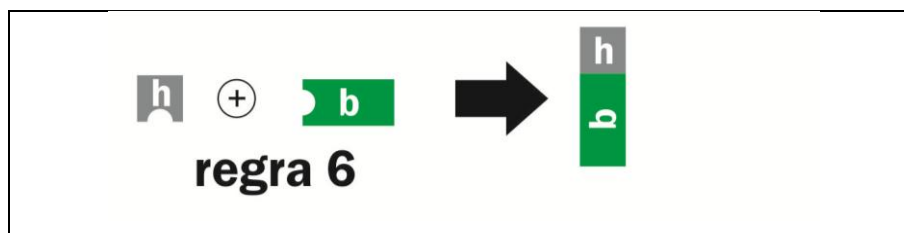


Figura 45: Regra 6 (R6)
Fonte: Alves (2011).

Regra 7: Inserir Banheiro

Inserir o símbolo “b” na face superior do hall, ao identificar o marcador posicionado na face superior do símbolo “h” e ao identificar o marcador posicionado no canto do símbolo “b”, resultando na relação R7.

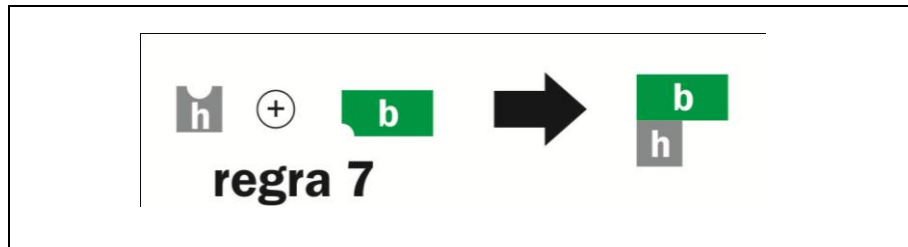


Figura 46: Regra 7 (R7)
Fonte: Alves (2011).

Regra 8: Inserir Banheiro

Inserir o símbolo “b” na face superior do *hall*, ao identificar o marcador posicionado na face superior do símbolo “h”, resultando na relação R8.

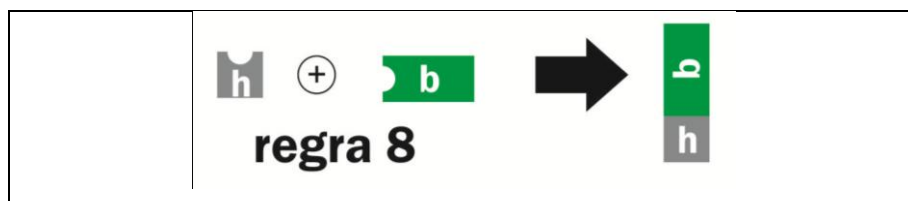


Figura 47: Regra 4 (R4)
Fonte: Alves (2011).

FAMÍLIA DE RELAÇÕES FORMAIS IV

Regra 9: Inserir Quarto I

Inserir o símbolo “qI” na face superior do hall, ao identificar o marcador posicionado na face superior do símbolo “h” e ao identificar o marcador posicionado no canto superior direito do símbolo “qI”, resultando na relação R9.

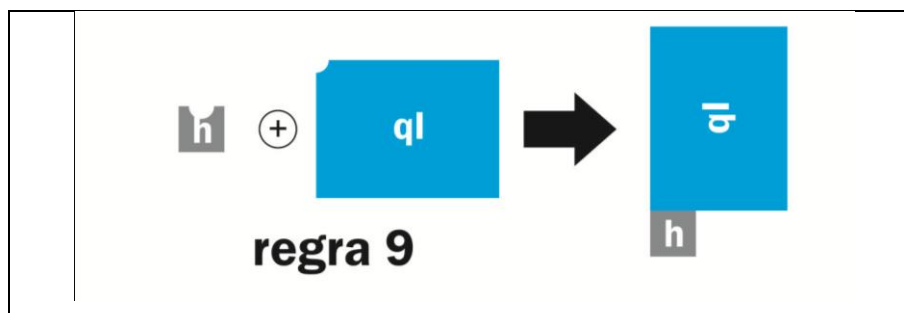


Figura 48: Regra 9 (R9)
Fonte: Alves (2011).

Regra 10: Inserir Quarto I

Inserir o símbolo “ql” na face direita do hall, ao identificar o marcador posicionado na face direita do símbolo “h” e ao identificar o marcador posicionado no canto superior esquerdo do símbolo “ql”, resultando na relação R10.

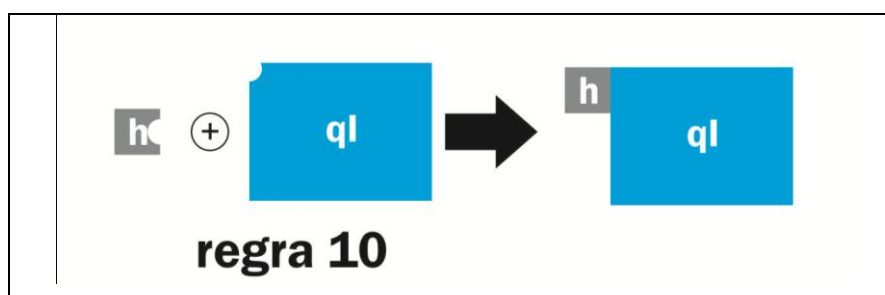


Figura 49: Regra 10 (R10)
Fonte: Alves (2011).

Regra 11: Inserir Quarto I

Inserir o símbolo “ql” na face direita do *hall*, ao identificar o marcador posicionado na face direita do símbolo “h” e ao identificar o marcador posicionado no canto superior direito do símbolo “ql”, resultando na relação R11.

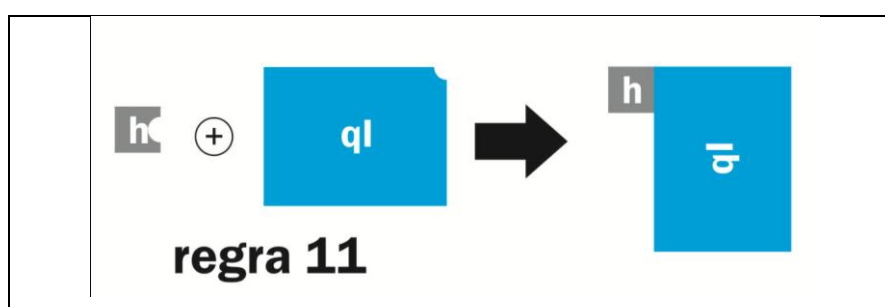


Figura 50: Regra (R11)
Fonte: Alves (2011).

Regra 12: Inserir Quarto I

Inserir o símbolo “*ql*” na face superior do hall, ao identificar o marcador posicionado na face superior do símbolo “*h*” e ao identificar o marcador posicionado no canto inferior esquerdo do símbolo “*ql*”, resultando na relação R12.

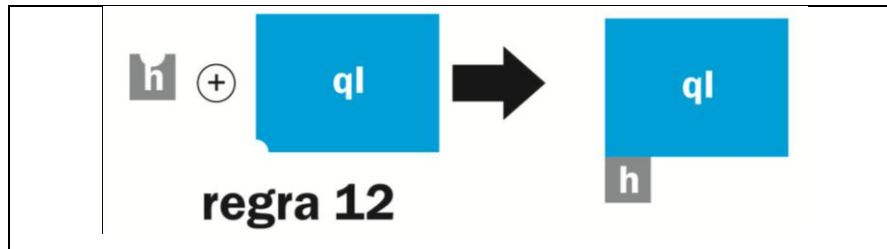


Figura 51: Regra12 (R12)
Fonte: Alves (2011).

Regra 13: Inserir Quarto II

Inserir o símbolo “*qll*” na face direita do hall, ao identificar o marcador posicionado na face direita do símbolo “*h*” e ao identificar o marcador posicionado no canto superior esquerdo do símbolo “*qll*”, resultando na relação R13.



Figura 52: regra 13 (R13)
Fonte: Alves (2011).

Regra 14: Inserir Quarto II

Inserir o símbolo “*qll*” na face inferior do hall, ao identificar o marcador posicionado na face inferior do símbolo “*h*” e ao identificar o marcador posicionado no canto superior esquerdo do símbolo “*qll*”, resultando na relação R13.



Figura 53: Regra 14 (R14)
 Fonte: Alves (2011).

Regra 15: Inserir Quarto II

Inserir o símbolo “qll” na face superior do *hall*, ao identificar o marcador posicionado na face superior do símbolo “h” e ao identificar o marcador posicionado no canto inferior esquerdo do símbolo “qll”, resultando na relação R12.

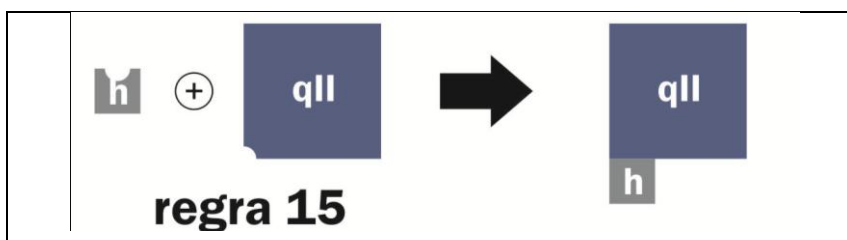


Figura 54: Regra 15 (R15)
 Fonte: Alves (2011).

Regra 16: Inserir Quarto II

Inserir o símbolo “qll” na face inferior do *hall*, ao identificar o marcador posicionado na face inferior do símbolo “h” e ao identificar o marcador posicionado no canto superior direito do símbolo “qll”, resultando na relação R16.



Figura 55: Regra 16 (R16)
 Fonte: Alves (2011).

REGRAS NOVAS PARA O VOCABULÁRIO INICIAL

Regra 17: Inserir Hall

Inserir o símbolo “h” no canto superior direito da sala, ao identificar o marcador posicionado no canto superior direito da sala resultando, na relação R17.



Figura 56: Regra 17 (R17)
Fonte: Alves (2011).

Regra 18: Inserir Cozinha

Inserir o símbolo “c” no canto superior esquerdo da sala, ao identificar o marcador posicionado no canto superior esquerdo da sala resultando, na relação R18.



Figura 57: Regra 18 (R18)
Fonte: Alves (2011).

REGRAS NOVAS PARA NOVOS ELEMENTOS

Regra 19: Inserir *Hall*

Inserir o símbolo “h” no canto superior da sala, ao identificar o marcador posicionado no canto superior da sala I resultando, na relação R19.



Figura 58: Regra 19 (R19)
Fonte: Alves (2011).

Regra 20: Inserir Cozinha

Inserir o símbolo “c” no canto superior da sala, ao identificar o marcador posicionado no canto superior da sala I resultando, na relação R20.



Figura 59: Regra 20 (R20)
Fonte: Alves (2011).

8.1.3. A APLICAÇÃO DA GRAMÁTICA E AS DERIVAÇÕES

Ao término da elaboração das regras da gramática e da definição dos elementos que compõem o vocabulário da linguagem, passamos para a segunda etapa do uso gramática nessa pesquisa. Assim partimos das especificações do vocabulário para derivar um universo inicial de plantas baixas, que atendessem ao programa de necessidades de uma residência unifamiliar.

A princípio derivamos dez configurações de plantas, que foram geradas baseadas a partir do conjunto inicial de formas (especificados na Tabela 4). Em seguida, para verificar e comprovar a capacidade do sistema de gerar soluções

diversificadas, inserimos novas regras e elementos que resultaram no surgimento de mais oito derivações totalizando quinze variações de plantas.

A seguir mostraremos o processo de geração de quatro das quinze ¹⁴ derivações obtidas a partir da aplicação das regras sobre o vocabulário de formas. As configurações de planta selecionadas foram: a Derivação I, Derivação II, Derivação IV e a Derivação XVIII. A escolha dessas instâncias dentro do universo de opções se deu levando-se em consideração a diversidade na aplicação de regras, diferença de composição e a variação das formas.

¹⁴ A aplicação das regras e o processo de derivação das demais soluções estão listadas nos Anexos desse trabalho.

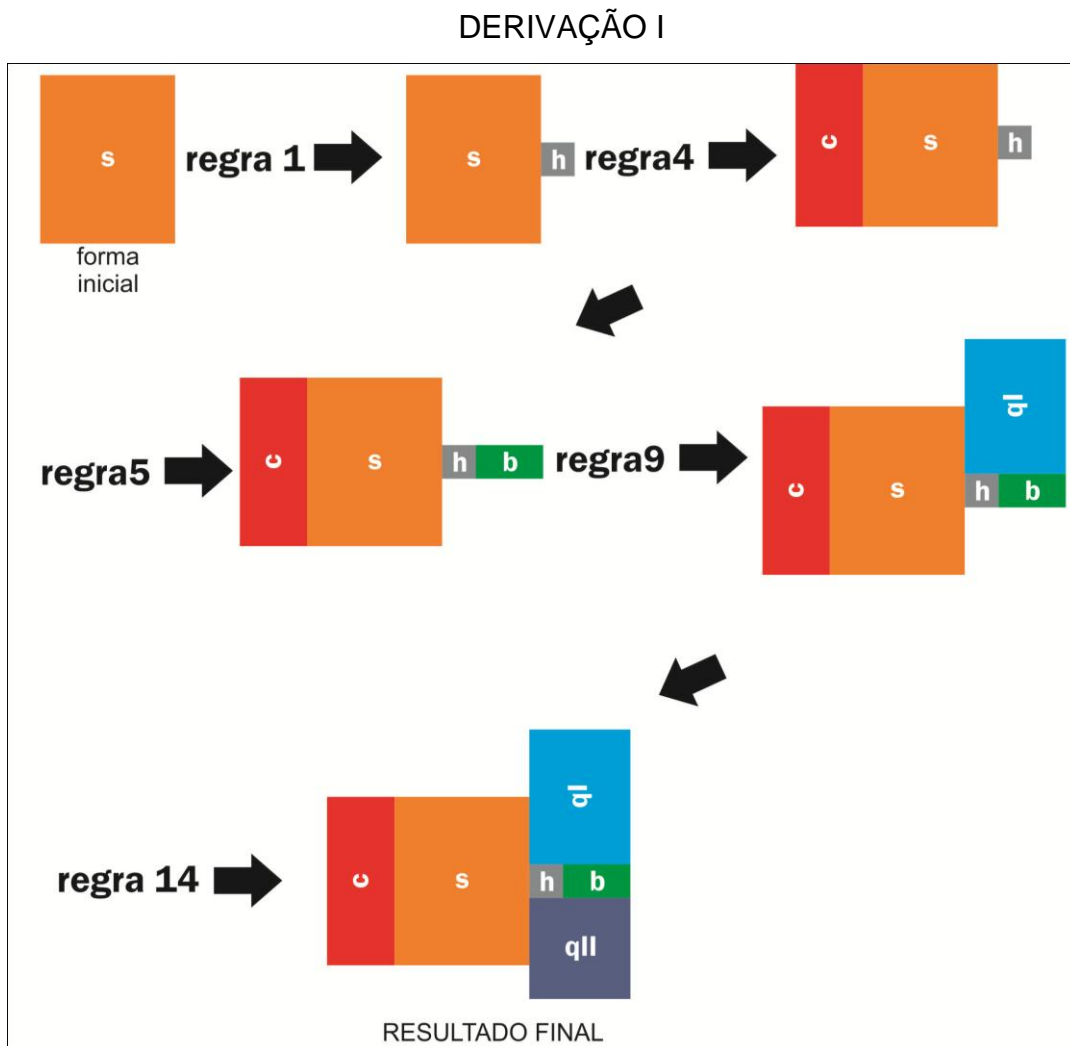


Figura 60: Aplicação sucessiva de regras e Derivação I

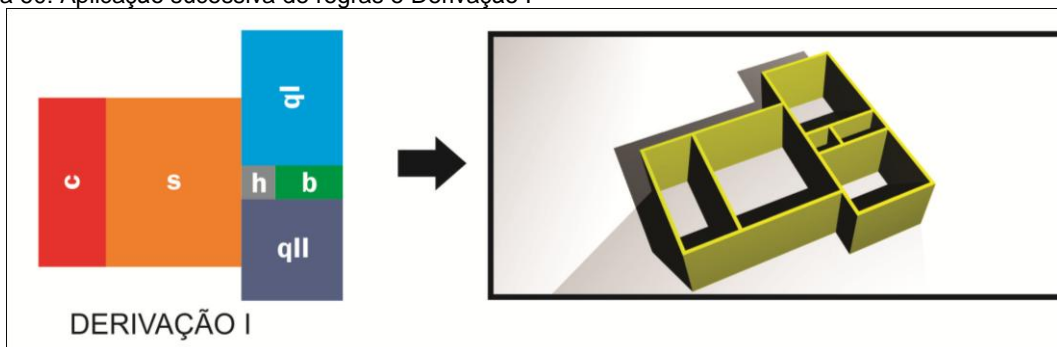


Figura 61: Representação bidimensional da distribuição dos espaços e extrusão tridimensional.
Fonte: Alves (2011).

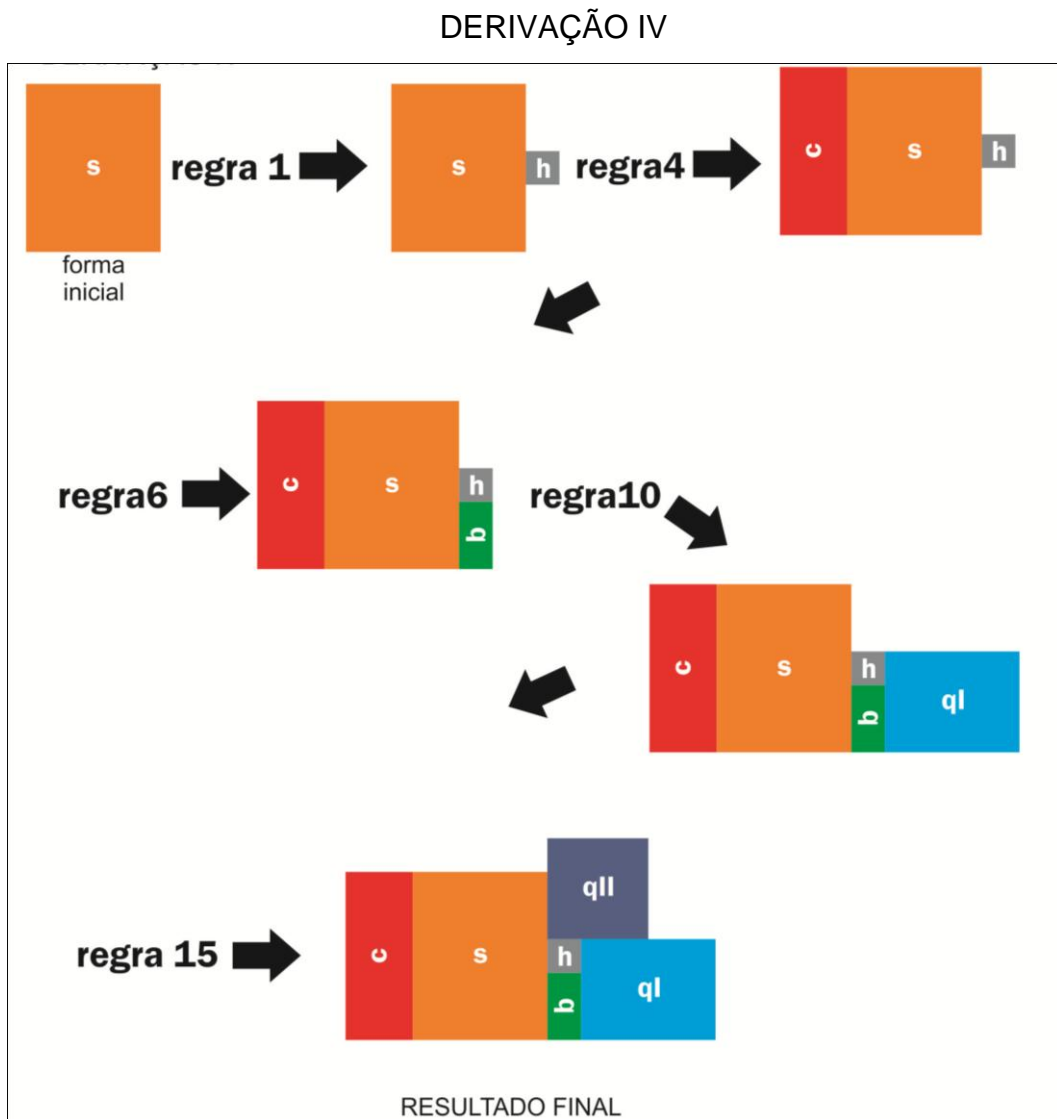


Figura 62: Aplicação sucessiva de regras e Derivação IV
 Fonte: Alves (2011).

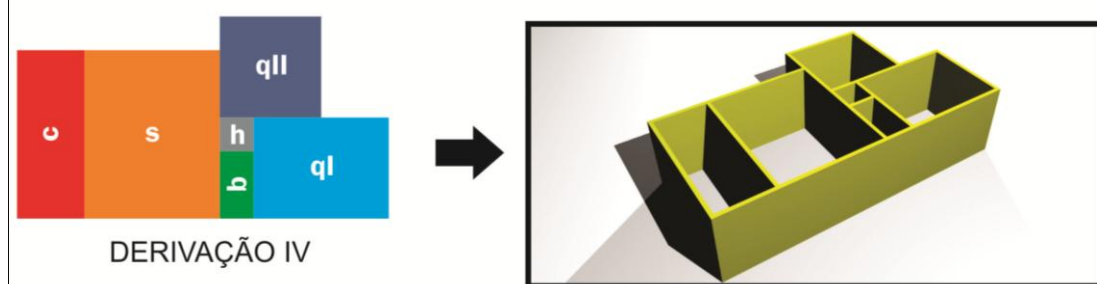


Figura 63: Representação bidimensional da distribuição dos espaços e extrusão tridimensional.
 Fonte: Alves (2011).

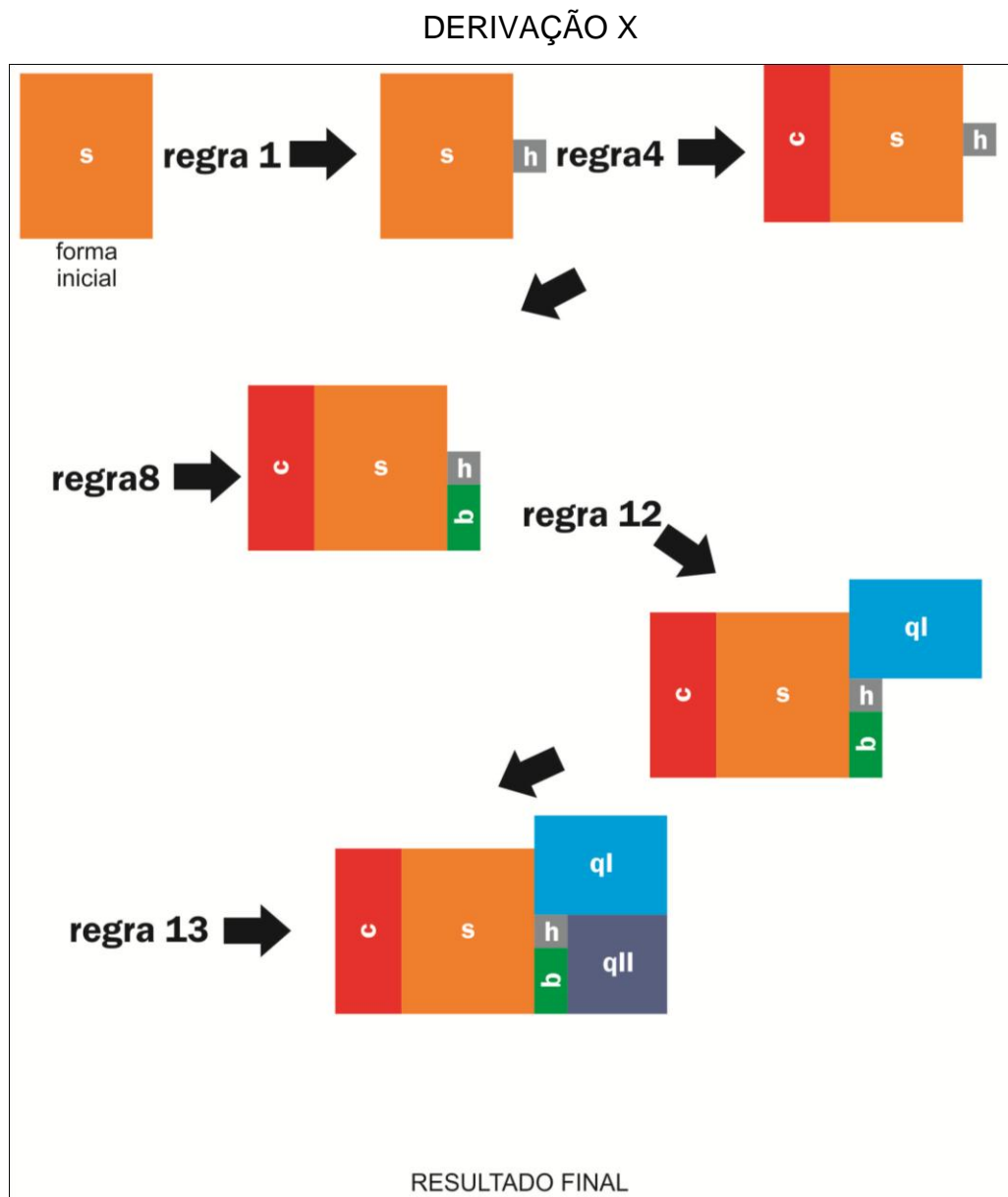


Figura 64: Aplicação sucessiva de regras e Derivação X
 Fonte: Alves (2011)..

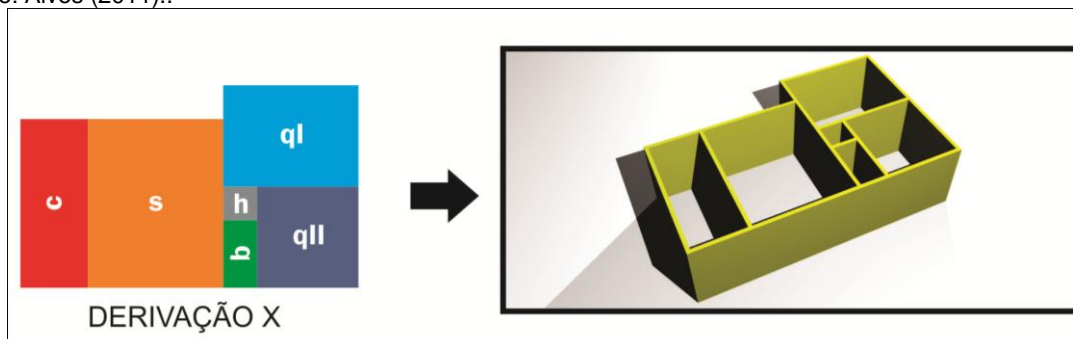


Figura 65: Representação bidimensional da distribuição dos espaços e extrusão tridimensional.
 Fonte: Alves (2011).

DERIVAÇÃO XVIII

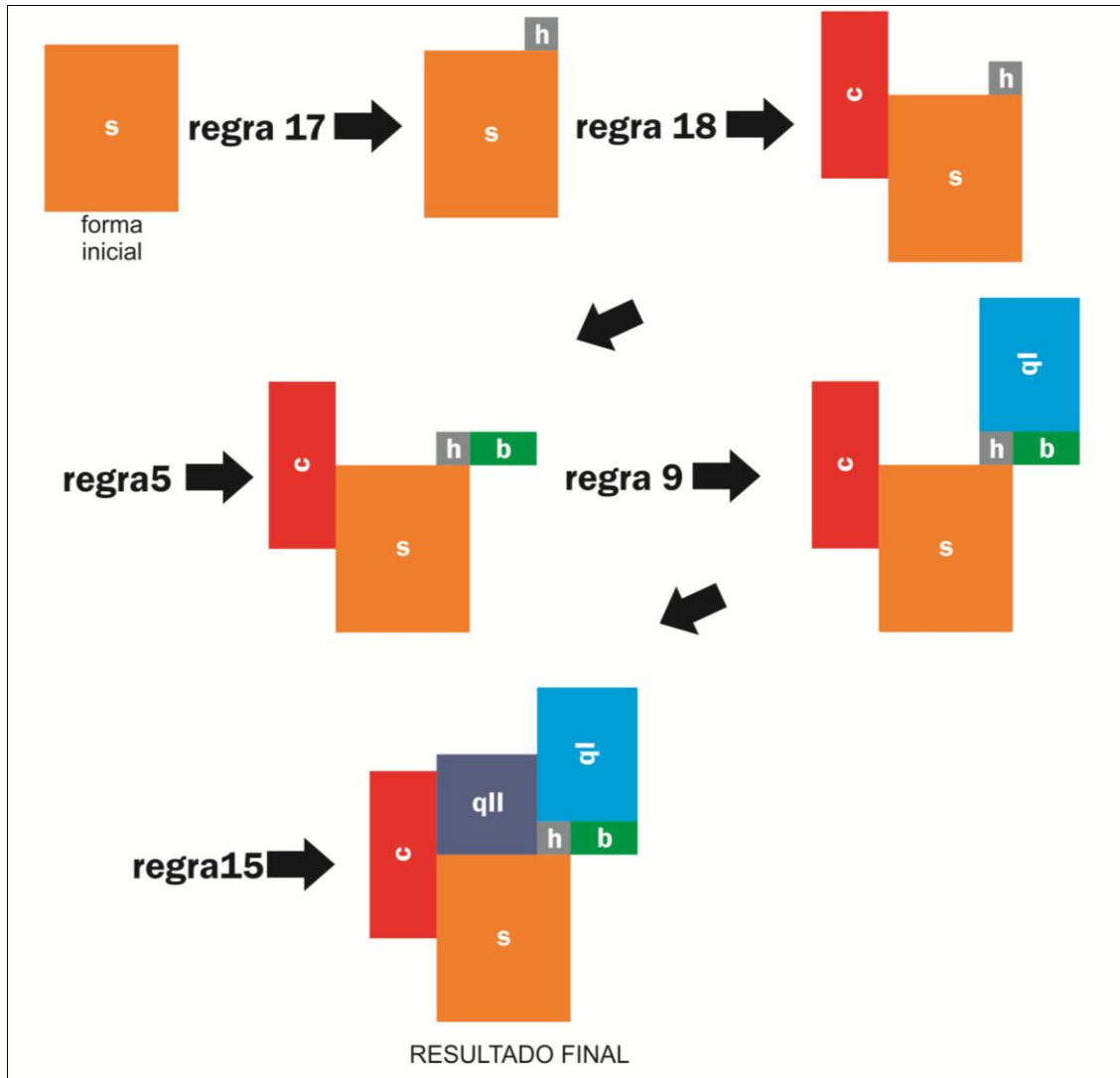


Figura 66: Aplicação sucessiva de regras e Derivação XVIII
 Fonte: Alves (2011).

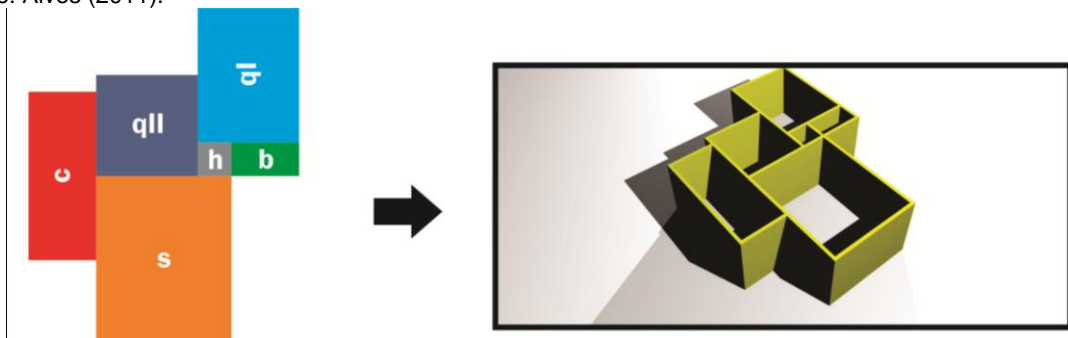


Figura 67: Representação bidimensional da distribuição dos espaços e extrusão tridimensional.
 Fonte: Alves (2011).

Um aspecto a ser observado nas derivações apresentadas anteriormente é o fato de que todas elas resultam em combinações que preservam a área de cinquenta e quatro metros quadrados definida no programa de necessidades. No entanto se tivéssemos optado por uma unidade habitacional com cômodos de dimensões diferentes, mas mantendo a área inicial de cinquenta e quatro metros quadrados, seria necessário apenas substituir os elementos existentes do vocabulário de formas pelos novos componentes como demonstrado na Figura 68, abaixo.

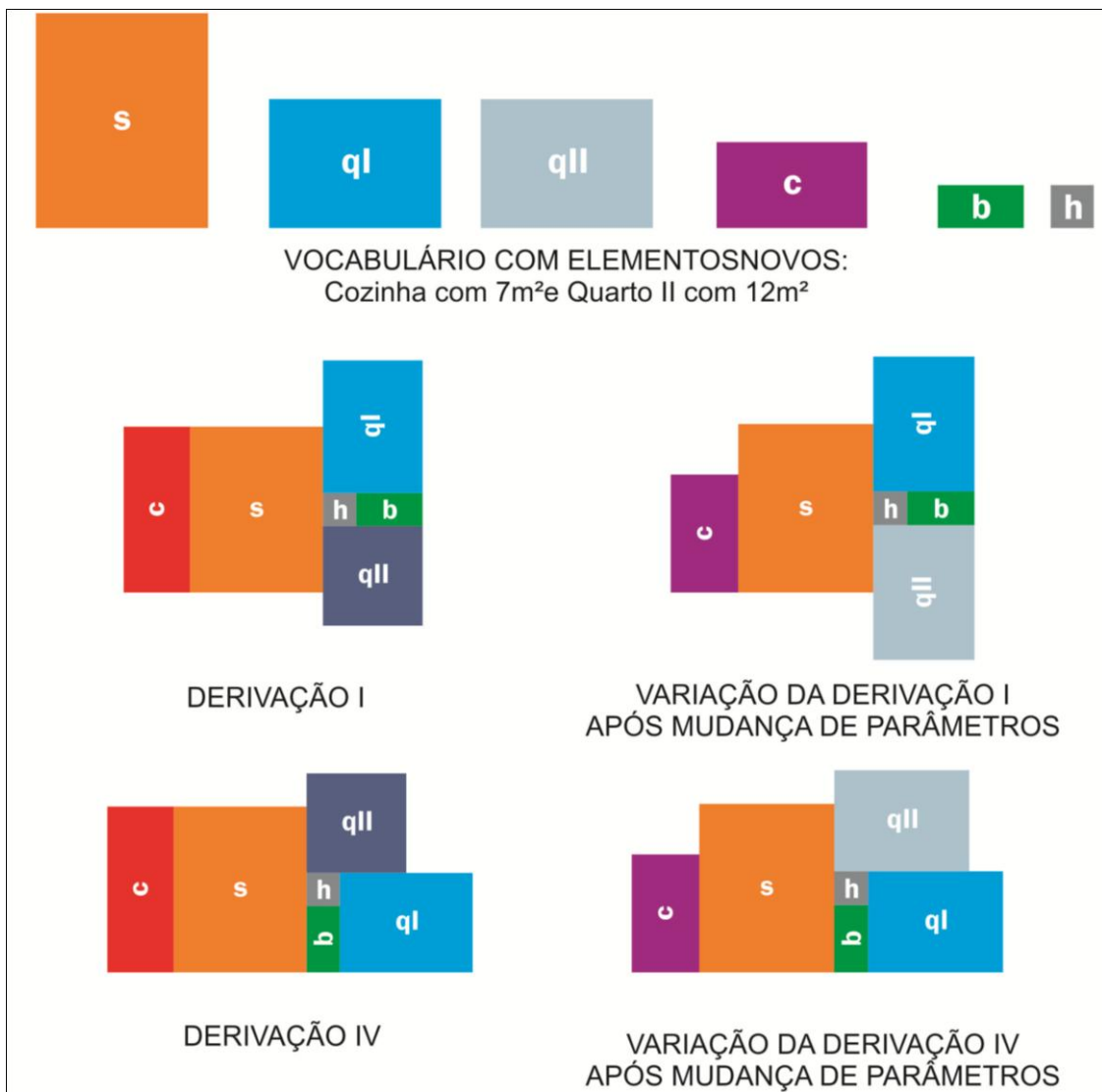


Figura 68: Variação do tamanho dos cômodos com manutenção da área.
Fonte: Alves (2011).

Dessa forma é possível adaptar rapidamente as soluções de projeto obtidas a novas especificações projetuais, tais como a redução ou o aumento da área total a ser construída.

A aplicação dessa gramática permite a produção de um grande número de possibilidades de configurações espaciais de plantas baixas que se constituem numa linguagem. Dessa forma, ao observamos o conjunto composto pelas soluções obtidas (Figura 69, abaixo), percebemos que as relações estabelecidas pelos critérios de definição das regras da gramática foram preservadas em todos os resultados. Assim, conseguiu-se um universo de soluções em que os cômodos fossem distribuídos de acordo com a função desempenhada no espaço e que tivessem pelo menos uma face livre.

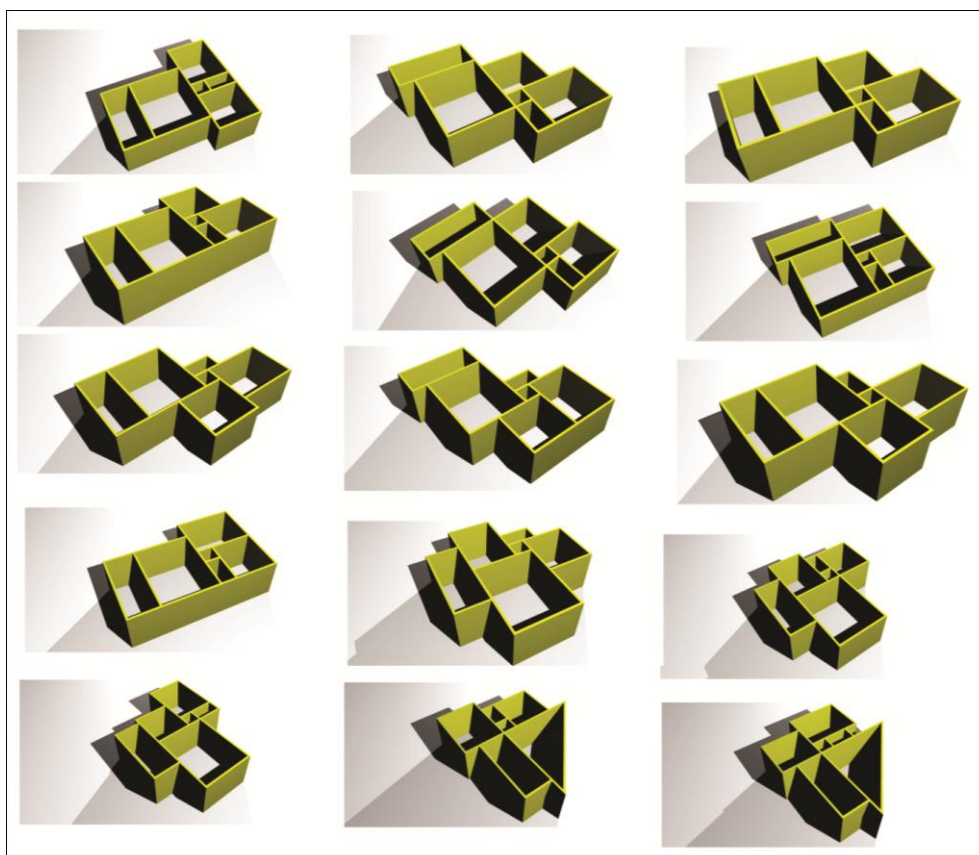


Figura 69: Universo de soluções de configurações de plantas baixa
Fonte: Alves (2011).

Dentre os resultados obtidos selecionamos a Derivação II (Figura 71) como instância a ser parametrizada. Mas poderíamos ter optado por qualquer uma das soluções obtidas uma vez que todas elas apresentam a divisão das funções e dos espaços de acordo com os critérios utilizados para a obtenção das regras.

DERIVAÇÃO II

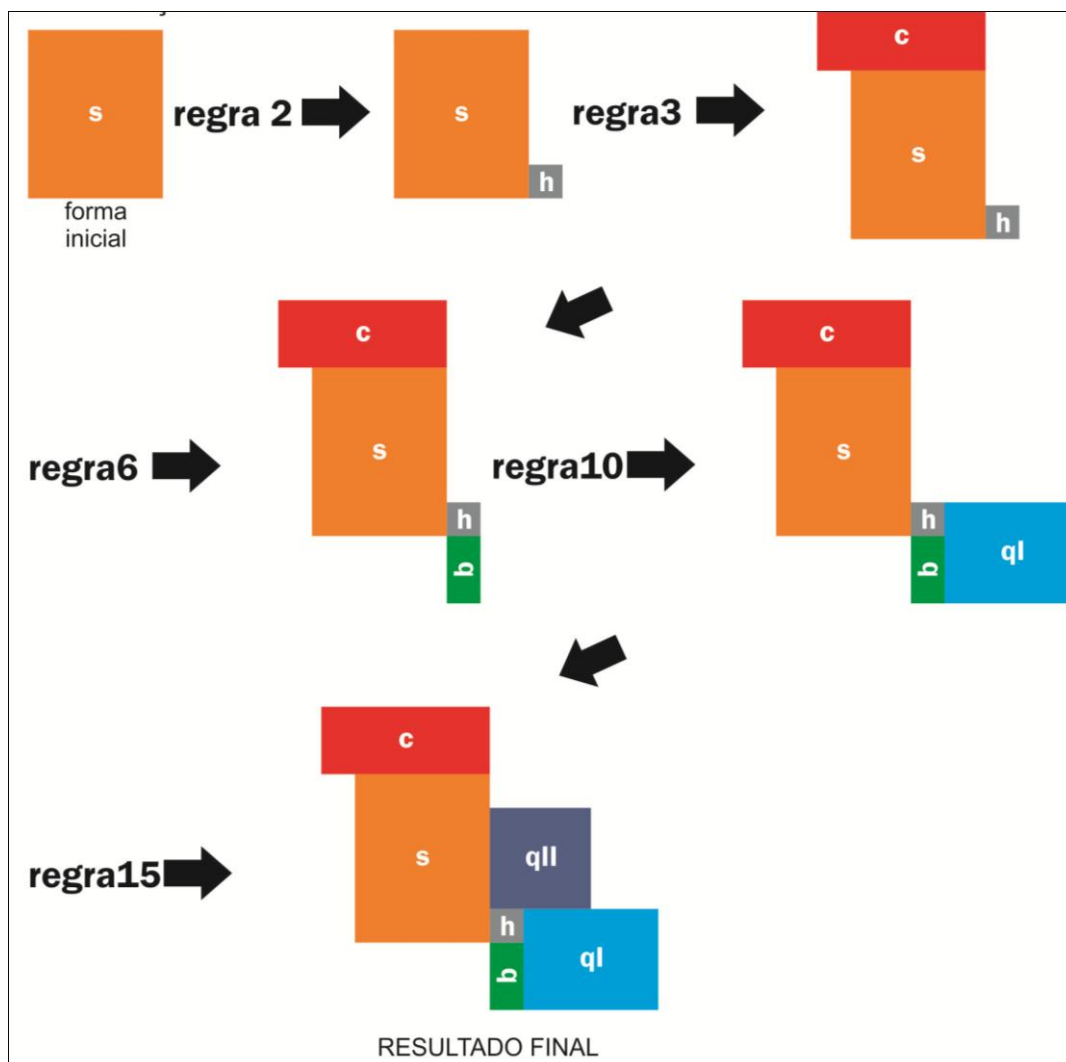


Figura 70: Processo de geração da Derivação II
 Fonte: Alves (2011).

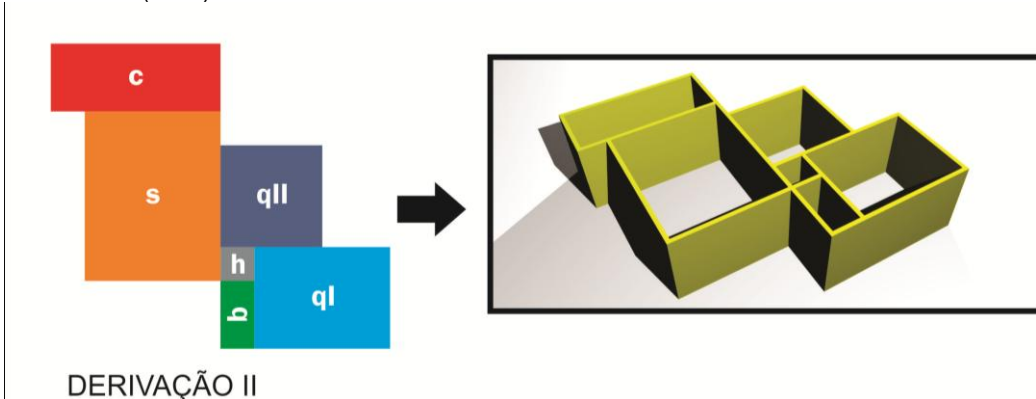


Figura 71: Representação bidimensional da distribuição dos espaços e extrusão tridimensional
 Fonte: Alves (2011).

8.2. A PARAMETRIZAÇÃO

A parametrização no processo de projeção da residência unifamiliar foi aplicada para se conseguir variações a partir da solução escolhida no universo de resultados gerados pela gramática. Os novos elementos foram originados a partir da variação dos parâmetros que definem o conjunto.

O emprego da arquitetura paramétrica possibilitou um maior controle do sobre o modelo. Dessa forma foi possível, a partir da alteração dos parâmetros, redistribuir os volumes que representavam os cômodos e estudar novas configurações formais.

Nesta etapa da aplicação dos métodos computacionais cada um dos espaços da residência foi utilizado como um elemento parametrizado. Dessa forma, cada uma das suas medidas (largura, comprimento e altura) correspondia a um parâmetro do objeto. Outra variável parametrizada foi à posição de cada cômodo no universo com coordenadas em X, Y e Z.

Como mencionamos anteriormente, o Grasshopper (GH) é um aplicativo que permite a criação de formas a partir da manipulação de componentes. Os componentes no GH podem ser divididos em parâmetros e componentes. No sentido de procedermos a parametrização dos cômodos, usamos três tipos de componentes, sendo eles: *Box2P*, o *VectorXYZ* e o *Move*. Na Tabela 6 demonstramos o funcionamento desses componentes e como eles foram utilizados para gerar os cômodos.

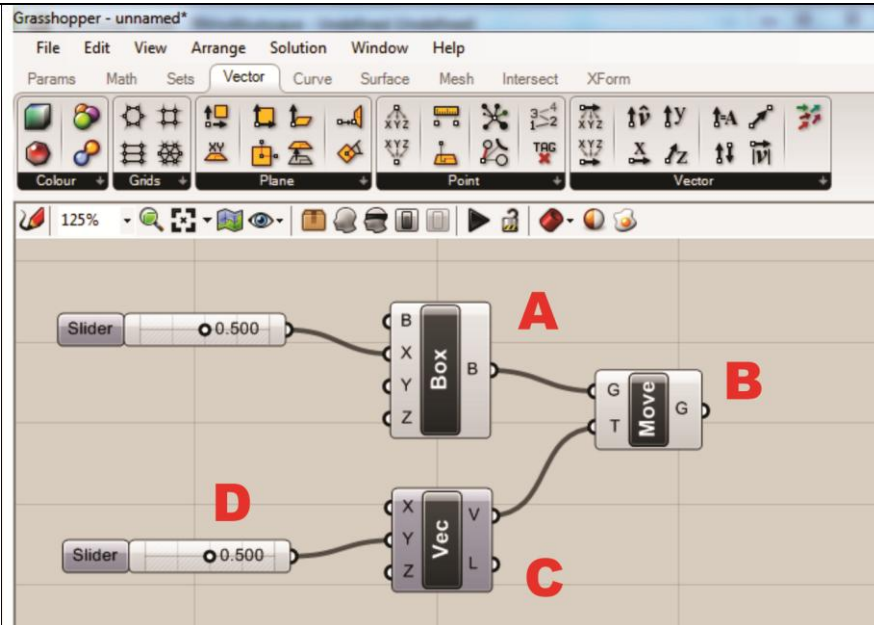


Figura 72: Componentes utilizados na parametrização.
 Fonte: Alves(2011).

A – Box2P: é acessado na aba *Surface* (*Surface> Primitive>Box2P*). Esse elemento possui quatro entradas de informação sendo elas: **B**, **X**, **Y** e **Z**. Na entrada **B** podemos definir o plano em que a caixa vai ser criada enquanto que as entradas **X**, **Y** e **Z** permitem a definição do comprimento, da largura e da altura da caixa. Além das três entradas **Box2P** possui uma saída que corresponde a caixa definida pelos parâmetros.

B – Move: é acessado na aba *Xform* (*XForm>Euclidean> Move*). Esse componente possui duas entradas **G** e **T**, onde **G** recebe informações referentes a geometria a ser movida e em **T** definimos o sentido da translação em relação a origem do sistema cartesiano. O **component Move** possui uma saída **G** que corresponde a geometria movida.

C – VectorXYZ: é acessado na aba *Vector* (*Vector> Vector> VectorXYX*). Esse componente determina a direção em que uma geometria vai se deslocar em relação ao sistema cartesiano. Possui três entradas (**X**, **Y**, **Z**) que definem a posição do vetor nos eixos x, y e z. Possui ainda duas saídas o **V** e **L** que correspondem ao vetor definido e ao comprimento do vetor.

D – NumberSlider: é acessado na aba *Params* (*Params>Special>NumberSlider*). O **Slider** é um parâmetro que permite que se possa definir valores numéricos para os as entradas dos componentes.

Tabela 6 – Descrição dos parâmetros utilizados.
 Fonte: Alves (2011).

No sentido de fornecer as informações referentes às dimensões e a posição dos elementos no espaço cartesiano, fizemos uso de parâmetros numéricos, que serviram de *input* para os componentes. Esses parâmetros foram definidos através do parâmetro *slider* que permite a inserção de valores absolutos que variam dentro de um intervalo preestabelecido (nesse caso de -10 a 10).

Cada recinto da unidade habitacional é representada no Grasshopper por três componentes (**Box2P**, **VectorXYZ** e **Move**) alimentados com os valores numéricos fornecidos pelos **NumberSlider**, parâmetros referentes. Na Figura 73 demonstramos a cozinha parametrizada.

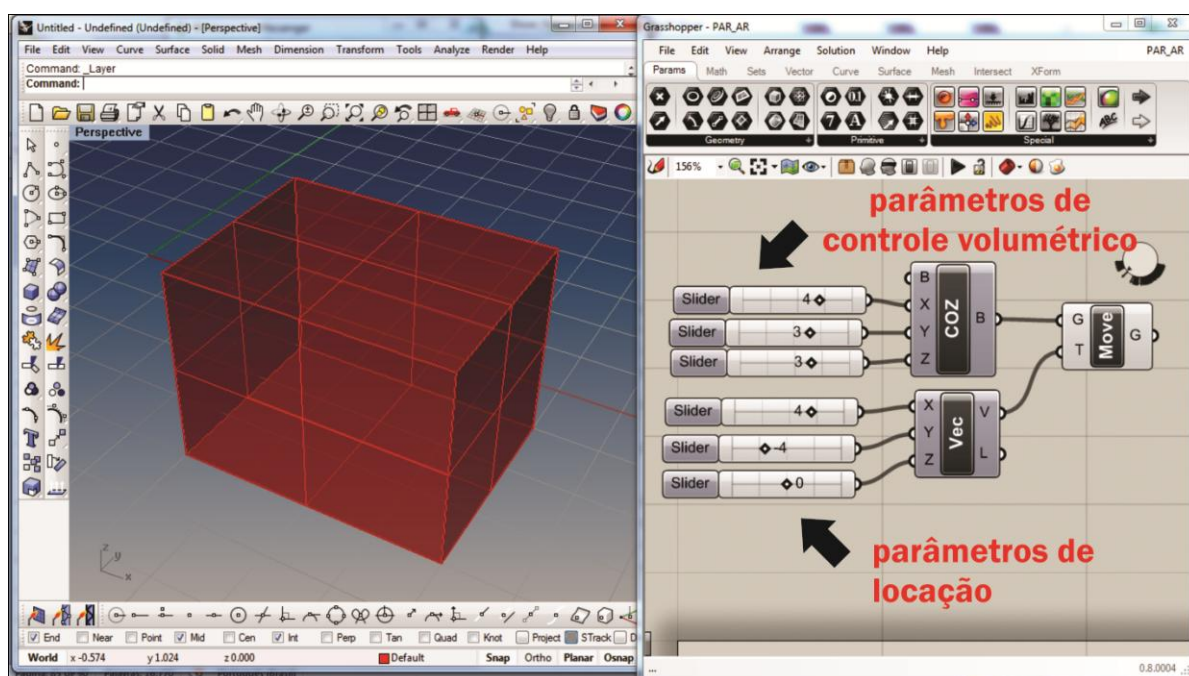


Figura 73: Cozinha parametrizada no *Rhino* e *Grasshopper*.
Fonte: Alves (2011).

Na Figura 75, a seguir, demonstramos a solução selecionada (Derivação II) parametrizada¹⁵. Onde podemos observar os cômodos definidos através dos parâmetros e componentes definidos na Tabela 6.

¹⁵ Os valores aplicados no Grasshopper que resultaram nas instâncias de I.1 a I.15 são mostrados em detalhe na seção de anexos.

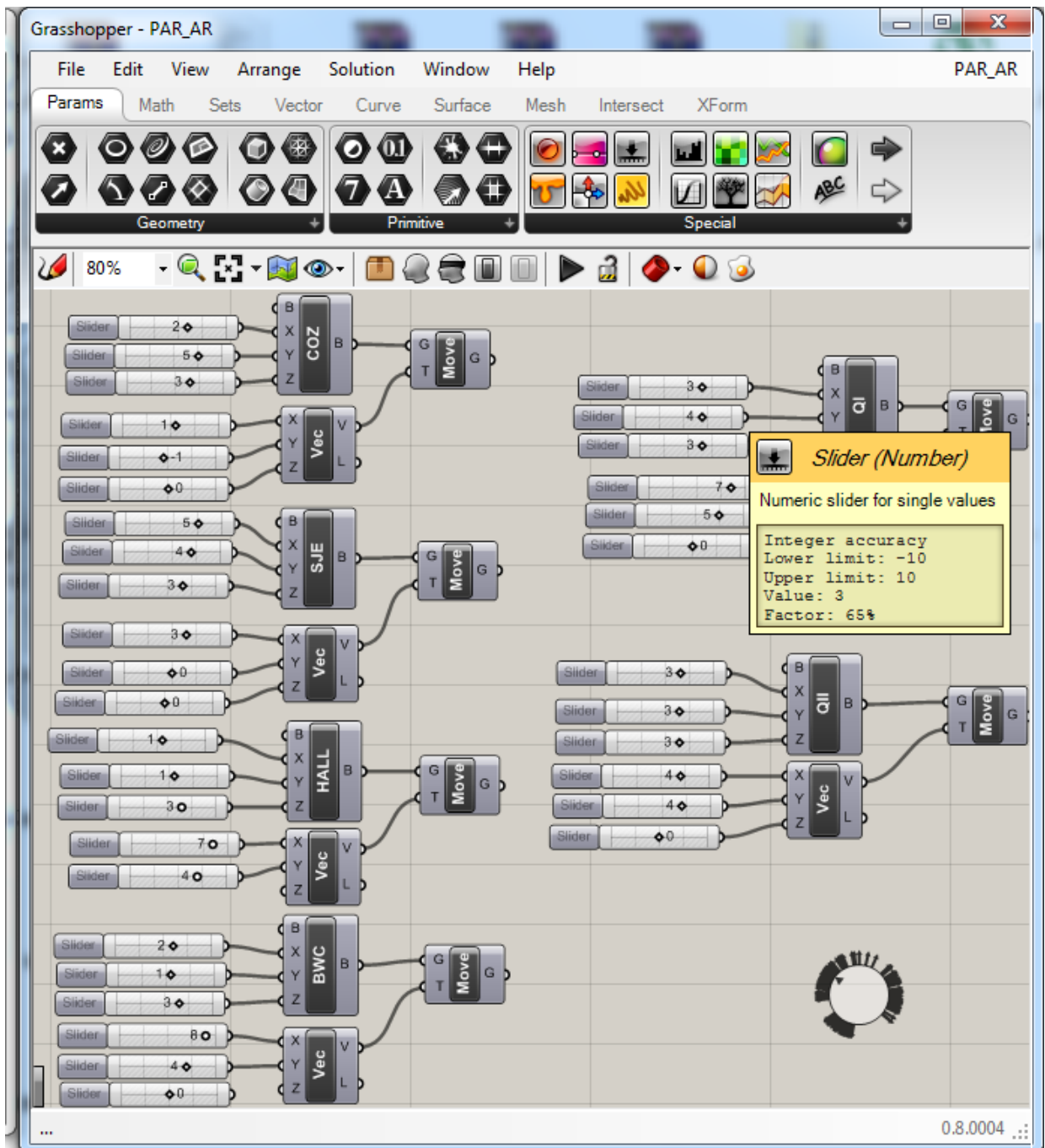


Figura 74: Parâmetros e Componentes que definem a Derivação II no Grasshopper.
 Fonte: Alves (2011).

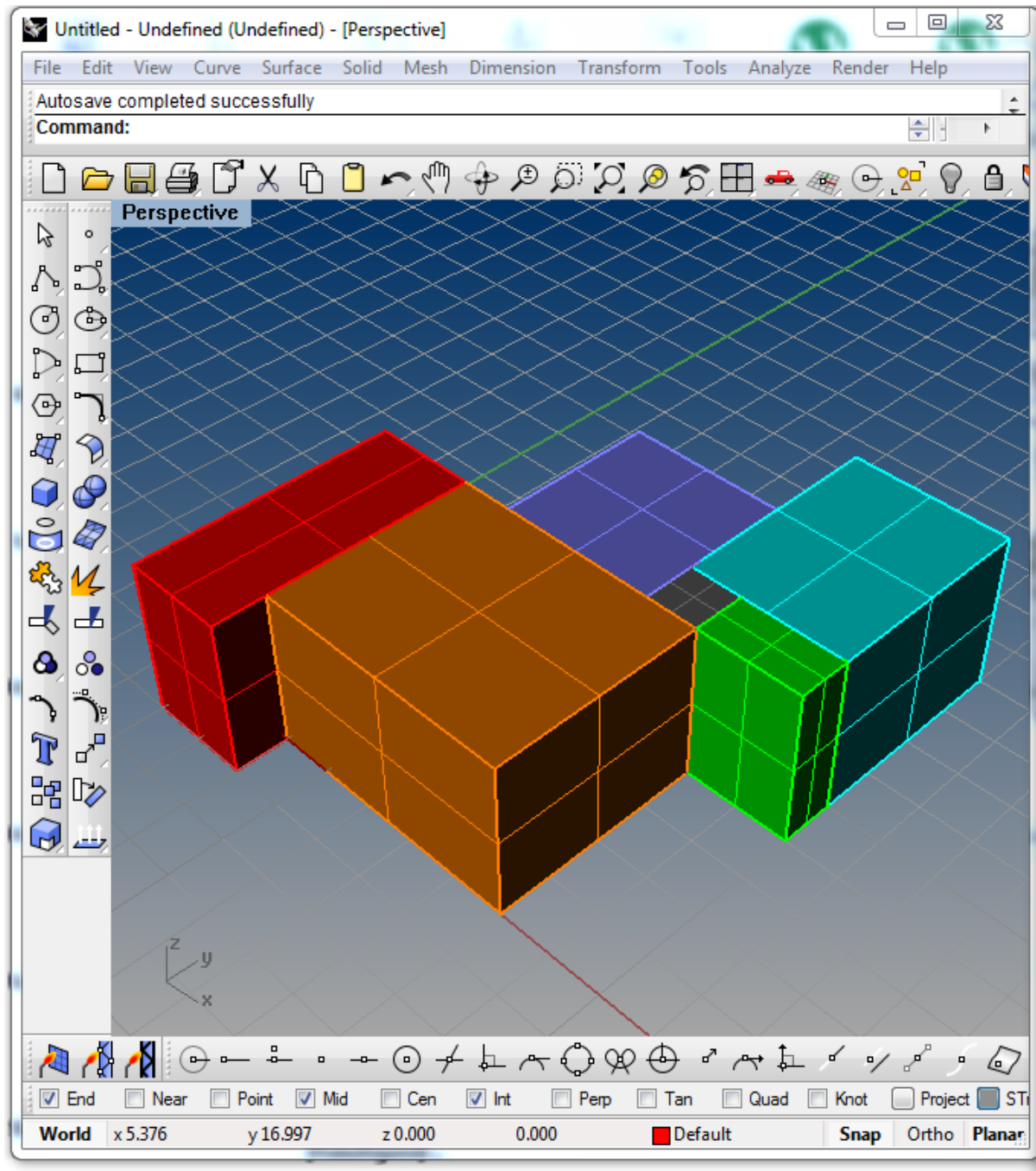
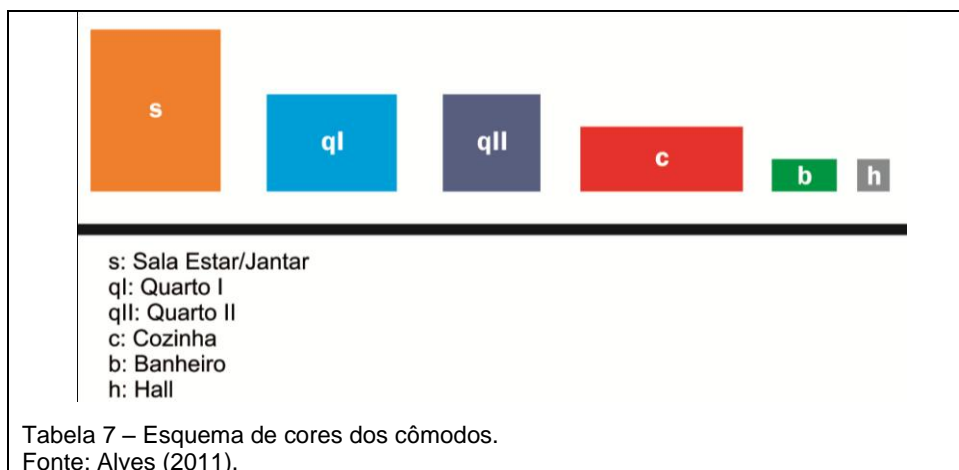


Figura 75: Resultado da parametrização da Derivação II no Rhinoceros.
Fonte: Alves (2011).

Assim como na etapa anterior, nesta parte do experimento fizemos uso da mesma notação de cor para facilitar a visualização da localização de cada um dos elementos no resultado obtido. A notação de cores que adotamos está representada na Tabela 7.



No sentido de produzir esse novo conjunto de propostas arquitetônicas foram realizadas variações paramétricas com o objetivo de alcançar os seguintes tipos de resultados:

- a) Obter resultados com áreas diferentes da área inicial de 56,00m², inicialmente com a modificação dos tamanhos dos espaços e depois com a inserção de novos cômodos;
- b) Realizar estudos volumétricos a partir do reposicionamento de alguns cômodos e da variação da altura inicial dos módulos.

Utilizando a variação paramétrica foram obtidas quinze novas variações da Derivação II. As instâncias geradas foram agrupadas em dois tipos: o primeiro corresponde a soluções em que o tamanho da unidade habitacional foi modificado, mas permaneceu com todos os seus cômodos no nível do chão, como demonstrado na Figura 76, a seguir.

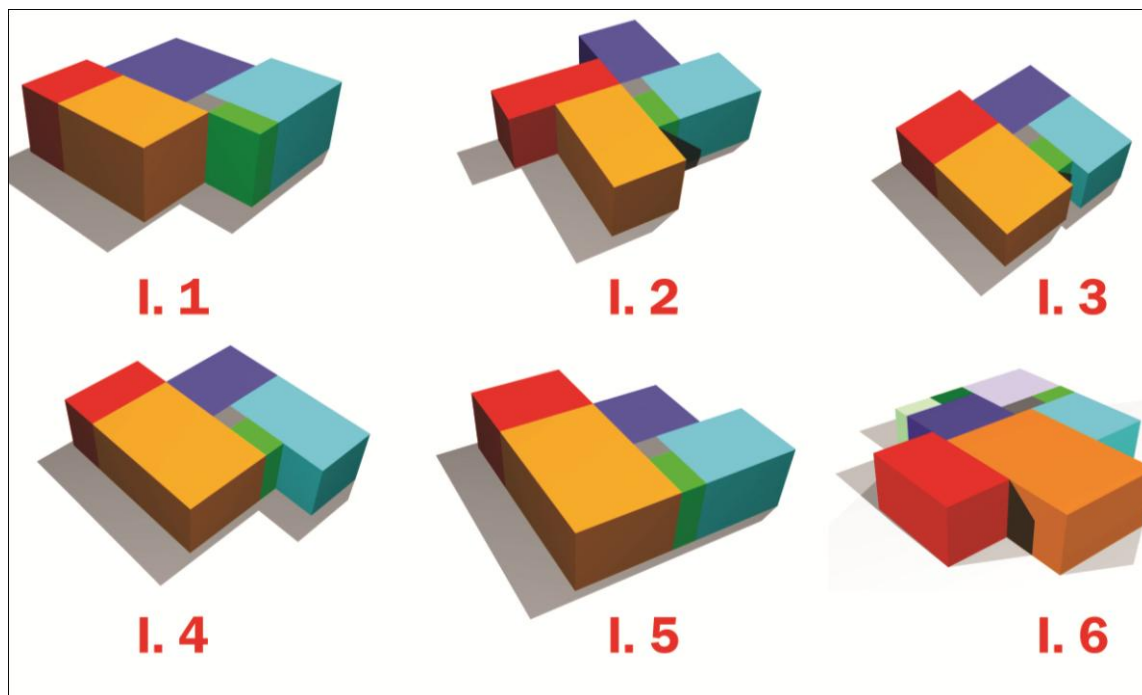


Figura 76: Instâncias geradas a partir da variação da área e da inserção de novos elementos.
Fonte: Alves (2011).

O segundo tipo de resultados obtidos foi constituído por configurações em que os espaços foram distribuídos de forma que nem todos os cômodos estivessem no nível do chão. Esses resultados são demonstrados a seguir na Figura 77.

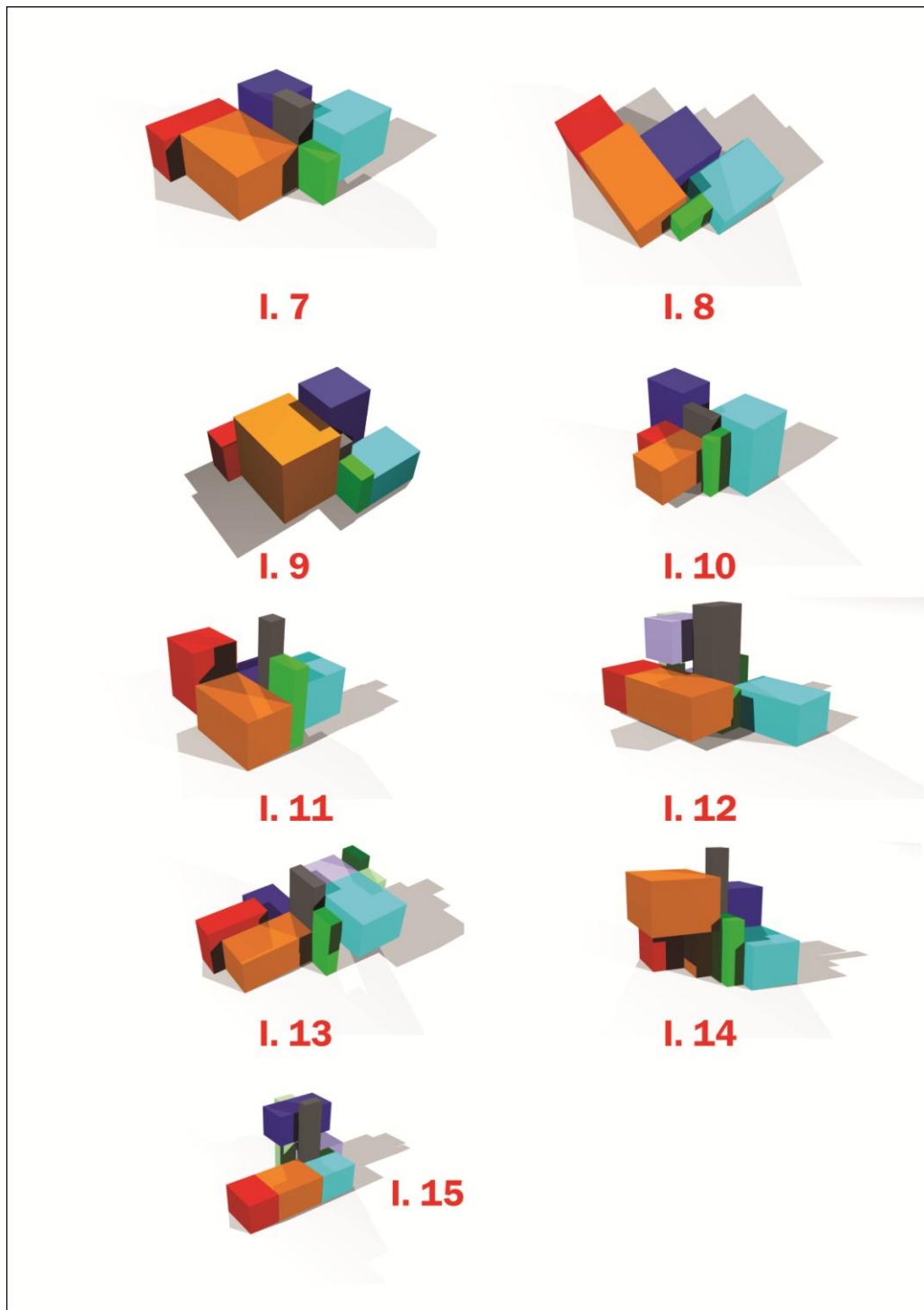


Figura 78: Instâncias geradas a partir da variação das alturas dos cômodos e do deslocamento em relação ao nível do chão.
Fonte: Alves (2011).

Os resultados obtidos nos dois grupos de solução ilustram a capacidade de se conseguir variabilidade. A partir da manipulação dos parâmetros é possível conseguir uma grande quantidade de resultados. Dessa forma tanto o (a) arquiteto (a) quanto o (a) cliente têm um universo diversificado de opções, que pode atender a situações específicas possibilitando a customização de resultados.

Outro aspecto que observamos através da Figura 76 e Figura 78 é que as modificações no modelo paramétrico e os seus respectivos resultados mantiveram as mesmas relações espaciais determinadas pela gramática da forma desenvolvida na etapa anterior.

As instâncias I.2 e I.10 (ver Figura 80 e Figura 81), por exemplo, apesar de representarem soluções formais diferentes entre si, seguem a mesma estrutura básica de distribuição definida no desenvolvimento da gramática e baseada no diagrama de distribuição de usos ilustrado na Figura 79.

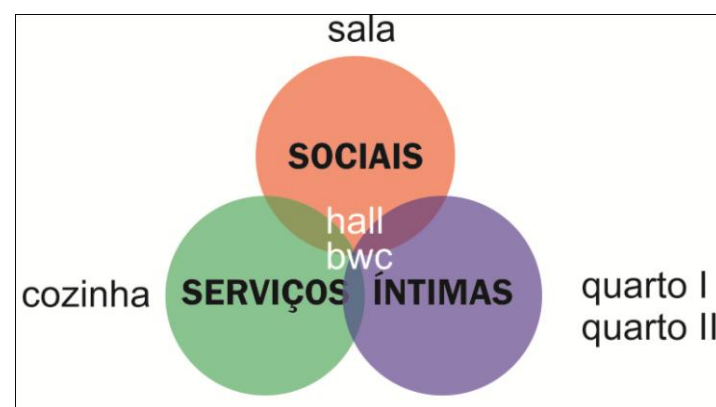


Figura 79 : Diagrama de usos e funções
Fonte: Alves (2011).

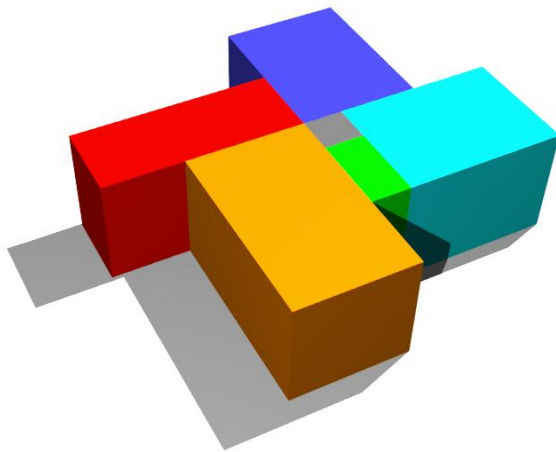


Figura 80: Instância 2
Fonte: Alves (2011).



Figura 81: Instância 10
Fonte: Alves (2011).

A parametrização e controle das variáveis do sistema permitem que se possa adaptar o projeto rapidamente às necessidades que não foram previstas inicialmente no programa de necessidades. Poderíamos citar, por exemplo, a redistribuição dos cômodos em decorrência do formato do terreno ou do desejo do cliente de ter uma casa que tenha mais ou menos cômodos ou uma edificação com mais de um pavimento.

Através desses resultados podemos afirmar ainda que o emprego dessa ferramenta facilitou consideravelmente o processo de estudo de volumes e formas. Dessa forma, por meio da variação paramétrica dos objetos o arquiteto consegue desenvolver rapidamente um conjunto de soluções volumétricas. Elas são resultantes formais dotadas de informação em escala, o que permite ao profissional verificar durante o processo de estudo preliminar a possibilidade de execução das formas desenvolvidas.

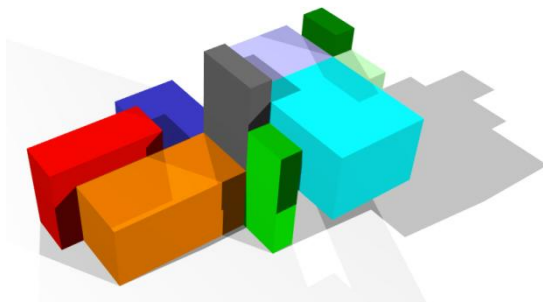
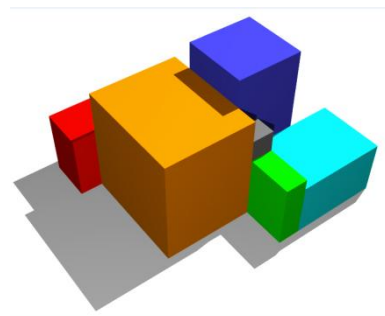


Figura 82: Variações volumétricas.
Fonte: Alves (2011).



Esta é outra possibilidade que nos é permitida com o uso dos sistemas generativos. É a possibilidade de distribuir uma ou mais soluções para formar conjuntos habitacionais, por exemplo, ou mesmo para criar edificações residenciais.

9. CONCLUSÃO E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Os resultados demonstrados nesta pesquisa permitem afirmar que o emprego dos Sistemas Generativos tais como a Gramática da Forma, Projeto Paramétrico e a Arquitetura Algorítmica, implementados através do uso de computador no processo de projeção de uma pequena residência unifamiliar, resulta em três contribuições importantes para as práticas projetuais.

A primeira delas é a possibilidade de permitir explicitar as razões que resultaram na definição pelo(a) arquiteto(a) de uma determinada forma. O emprego da gramática da forma como método de projeção muda o enfoque do processo da definição de formas para a definição de princípios e relações geradoras de formas. Neste trabalho vimos que as soluções arquitetônicas foram geradas seguindo dois princípios a partir dos quais foi definido um universo de regras. Essas regras ao serem implementadas resultaram no surgimento de um conjunto de soluções.

A segunda contribuição obtida através do uso desses métodos é a possibilidade de se obter um maior controle sobre o objeto projetado. Tanto através do uso da gramática da forma quanto do emprego da modelagem paramétrica é dado ao arquiteto total controle sobre o projeto desenvolvido. Ao se inserir regras ou elementos no vocabulário da gramática é possível direcionar os resultados gerados em decorrência da aplicação dessa gramática. Dessa forma o uso desses métodos possibilita maior controle sobre o processo generativo de soluções.

Considerando a abordagem da parametrização, o controle sobre o conjunto de elementos do projeto, neste trabalho, ocorreu no nível do objeto. Assim, foi possível determinar a localização de um objeto em relação ao outro bem como o controle de suas dimensões.

A terceira, e mais importante contribuição é a possibilidade de se obter um grande número de soluções a partir de um conjunto pequeno de informações. Dessa forma um único arquiteto poderia em um curto espaço de tempo desenvolver um universo diversificado de soluções arquitetônicas, viabilizando, dessa forma, a customização em massa de habitações unifamiliares de pequeno porte.

A título de desdobramentos futuros, pretendemos estender a quantidade de parâmetros do sistema generativo apresentado nesta dissertação. Desenvolveremos parâmetros que possibilitem controlar aspectos tais como as variáveis climáticas, financeiras ou ainda especificações legais. Dessa forma teremos a possibilidade de gerar soluções diversas e adaptáveis que atendam a qualquer contexto urbano.

Pretendemos ainda usar o modelo adotado nesta dissertação para desenvolvermos um software de produção de soluções arquitetônicas. Temos o objetivo de fazermos a aplicação desse software em projeto de habitação de população de baixa renda. Assim poderemos desenvolver o projeto de cada habitação, garantindo que a população de baixa renda possa se beneficiar do uso dessas ferramentas no sentido de obter casas customizadas, ao mesmo tempo em que atendam a especificações de custo ou tipo de material disponível. Dessa forma poderemos produzir, como resultado, a construção de agrupamentos urbanos ricos em diversidade de formas e soluções arquitetônicas, em contraponto com as soluções massificadas que encontramos desse tipo de edificação nas cidades desde a Revolução Industrial.

10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARIDA, S. **Contextualizing Generative Design**. 2004. 110f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Arquitetura. Massachusetts Institute of Technology. Massachusetts. 2004.
- BERGDOLL, B.; CHRISTENSEN, P. Hand Over: Pleine Air Prefabrication/Transition Thoughts. **Moma Home Delivery**, 2008. Disponível em: <<http://www.momahomedelivery.org/>>. Acesso em: 12 Agosto 2010.
- BERGDOLL, B.; CHRISTENSEN, P. Housing.com. **Manning Portable Colonial Cottage for Emigrants (1833-1840)**, 2008. Disponível em: <<http://www.housing.com/categories/homes/history-prefabricated-home/manning-portable-colonial-cottage-emigrants-1833-1840.html#2>>. Acesso em: 10 Fevereiro 2011.
- BLAKE, P. **Form Follows Fiasco: Why modern architecture hasn't worked**. 1ª Edição. ed. [S.l.]: The atlantic monthly press, 1977.
- BRIDGES, A. The Challenge of Constraints: A Discussion of Computer Applications in Architectural Design. **Laboratório de Projeto de Arquitetura e Fabricação Digital - FAU/UnB**, Glasgow, 1993. Disponível em: <<http://lecomp.fau.unb.br/moodle/mod/resource/view.php?id=541>>. Acesso em: 23 Setembro 2009.
- CALDAS, L.; NORFORD, L. **Architectural Constraints in a Generative Design System: Interpreting Energy Consumption Levels**. 7th International IBPSA Conference. Rio de Janeiro: [s.n.]. 2001. p. 1397-1404.
- CELANI, Gabriela; PUPO, Regiane; MENDES, Gelly; PINHEIRO, Érica. **Generative Design Systems for Housing: An Outside-in Approach**. Digital Design: The Quest for New Paradigms. 23rd eCAADe Conference Proceedings. Lisboa: [s.n.]. 2005. p. 501-506.
- CELANI, G; CYPRIANO, D; GODOI, G; VAZ, C. **A Gramática da Forma como Metodologia de Análise e Síntese em Arquitetura**. Caxias do Sul: [s.n.]. 2006. p. 180-195.
- COBBERS, A.; JAHN, O. **Prefab Houses**. 1ª Edição. ed. [S.l.]: Taschen, 2010.

DUARTE, J. P. **Towards the mass customization of housing:** The Grammar of Siza's houses at Malagueira. *Environment and Planning B: Planning and Design*. [S.l.]: [s.n.]. 2005. p. 347-380.

EASTMAN, Chuck; Paul, TEICHOLZ; SACKS, Rafael; LISTON, Kathleen. **BIM Handbook:** A guide to Building Information. Indianápolis: Wiley Publishing, 2008.

ESPALLARGAS, L. **Caraíba e Serra do Navio:** a construção da cidade brasileira. XV Simpósio Multidisciplinar da USJT: Ensino, Pesquisa, Extensão. São Paulo: USJT. 2009. p. 56-79.

FRAMPTON, K. **História Crítica da Arquitetura Moderna.** Tradução de Jefferson Luiz Camargo. 1ª Edição. ed. São Paulo: Martins Fontes, 2003.

FRAZER, J. **An Evolutionary Architecture.** 1ª Edição. ed. Londres: E.G. Bond Ltd, v. VII, 1995.

GIPS, J. **Shape Grammars and their Uses:** Artificial Perception, Shape Generation and Computer Aesthetics. 1ª Edição. ed. Stuttgart: Birkhäuser, 1975.

GIPS, J. **Shape Grammars and their Uses:** Artificial Perception., shape Generation and Computer Aesthetics. 1ª Edição. ed. Stuttgart: Birkhäuser, 1975.

GODOI, G. **Sistemas Generativos de Projeto: Um Estudo de Campo em Monte Alegre.** 2008. 113f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Construção). Programa de Pós Graduação em Engenharia, Universidade Estadual de Campinas. Campinas. 2008.

GOITIA, F. C. **Breve História do Urbanismo.** 5ª Edição. ed. Lisboa: Presença, 2003.

GUIMARÃES, P. P. **Configuração Urbana:** Evolução, Avaliação Planejamento e Urbanização. 1ª Edição. ed. Rio Janeiro: Prolivros Ltda., 2004.

KERLOW, I. V. **The Art of 3-D:** Computer Animation and Imaging. 1ª Edição. ed. New York: John Wiley & Sons, v. único, 2000.

KHABAZI, M. **Algorithmic Modelling with Grasshopper (Rhino Plug-in).** 1ª Edição. ed. [S.l.]: Este livro foi publicado digitalmente estando disponível em: www.khabazi.com/flux, 2009.

KNIGHT, T. W. **Designing with Grammars.** CAAD futures Digital Proceedings. [S.l.]: [s.n.]. 1991. p. 33-48.

KNIGHT, T.; SASS, L.; KAMATH, A. V. **Visual-Physical Grammars.** CCIA'2008. [S.l.]: [s.n.]. 2008. p. 510-516.

KNIGHT, T.; STINY, G. Classical and Non-classical Computaion. **Information Technology**, v. V, n. 4, p. 355-372, 2001.

KOLAREVIC, B. **Digital Fabrication: Manufacturing Architecture in The Information Age**. ACADIA XX: Reinventing The Discourse. Buffalo: State University of New York. 2001. p. 268-277.

KOLAREVIC, B. **Architecture in Digital Age: Design and Manufacturing**. Nova York: Taylor & Francis, 2003.

KRYGIEL, E.; BRADLEY, N. **Green BIM: Successful Sustainable Design with Building Information Modeling**. Indianapolis: Wiley Publishing, 2008.

MAILARD, M.; PHILIP, R.; STEVEN, R. O Processo de Projeto e o Computador: Realidades que Interragem Virtualmente. **Site do Curso de Arquitetura da Universidade Federal de Minas Gerais**, 2010. Disponível em: <<http://www.arq.ufmg.br/eva/art012.pdf>>. Acesso em: 10 Outubro 2010.

MAYER, R. **A linguagem de Oscar Niemeyer**. 2003. 162f. Dissertação(Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Programa de Pesquisa e Pós Graduação em Arquitetura da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2003.

MCCORMACK, J.; DORIN, A.; INNOCENT, T. **Generative Design - A Paradigm for Design Research**. Proceedings of Futureground. Melbourne: Design Research Society. 2004. p. 5-13.

MCNEEL, R. The History of Rhino. **rhino: rhinohistory**, 2011. Disponível em: <<http://wiki.mcneel.com/rhino/rhinohistory>>. Acesso em: 21 Fevereiro 2011.

MEREDITH, M.; SASAKI, M. **From Control to Design**. 1ª Edição. ed. New York: Actar-D, 2009.

MITCHELL, W. J. **Computer Aided Design**. 1ª Edição. ed. New York: Petrocelli/Charter, 1977.

MITCHELL, W. J. **City of Bits: Space, Place and infobahn**. 2ª edição. ed. Massachusetts: MIT Press, 1995.

MITCHELL, W. J. **A Lógica da Arquitetura: Projeto, Computação e Cognição**. Tradução de Gabriela CELANI. 1ª Edição. ed. Campinas: Editora da UNICAMP, 2008.

MOREIRA, T. P. F. **A Influência da Parametrização dos Softwares CADD**. 2008. 224f. Dissertação(Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). PPGFAU – Programa de

Pesquisa e Pós-Graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília. Brasília. 2008.

MUCHINELLI, L. R. A. "Dilemas da conservação da Vila Operária da Gamboa no Rio de Janeiro: Proposta de intervenção física com a participação comunitária". **Docomomo**, 2009. Disponível em: <<http://www.docomomo.org.br/seminario%208%20pdfs/094.pdf>>. Acesso em: 18 Fevereiro 2011.

PAYNE, A.; ISSA, R. **Grasshopper: Primer**(for version 0.6.0007). 2ª Edição. ed. [S.l.]: Esse livro foi publicado digitalmente estando disponível em: <http://www.grashopper.rhino3d.com.>, 2009.

SASS, L.; RIVKA, O. Materializing Design: the implications of rapid prototyping in digital design. **Design Studies**, Londres, v. 27, n. 3, p. 325-355, Maio 2006.

SCHUMACHER, P. The Parametricist Manifesto. **The architects Newspaper**, Junho 2010. Disponível em: <http://www.archpaper.com/e-board_rev.asp?News_ID=4623>. Acesso em: 03 Julho 2010.

SHELDEN, D. R. **Digital Surface Representation and the Constructibility of Gehry's Architecture**. (2002) 340f. Tese (Doutorado em Ciência da Arquitetura). Massachusetts Institute of Technology. Massachusetts. 2002.

SHENG YU, H. **Parametric Architecture**. 127f. Dissertação (Mestrado em Ciência da Arquitetura). Massachusetts Institute of Technology. Massachusetts. 2009.

SILVA, R.; AMORIM, L. Urbanismo paramétrico: emergência, limites e perspectivas de nova corrente de desenho urbano fundamentada em sistemas de desenho paramétrico. **in: VIRUS**, São Carlos: Nomads, USP, n. 3, ago. 2010. Disponível em: <<http://www.nomads.usp.br/virus/virus03/submitted/layout.php?item=2&lang=pt>>. Acesso em: 19 Agosto 2010.

STINY, G. Introduction to Shape and Shape Grammars. **Environment and Planning B**, v. 7, p. 343-351, 1980.

STINY, G.; GIPS, J. **Shape Grammars and the Generative Specification of Painting and Sculpture**. IFIP CONGRESS: Proceedings of Future. Amsterdam: C.V. Freimanp. 1972. p. 1460-1465.

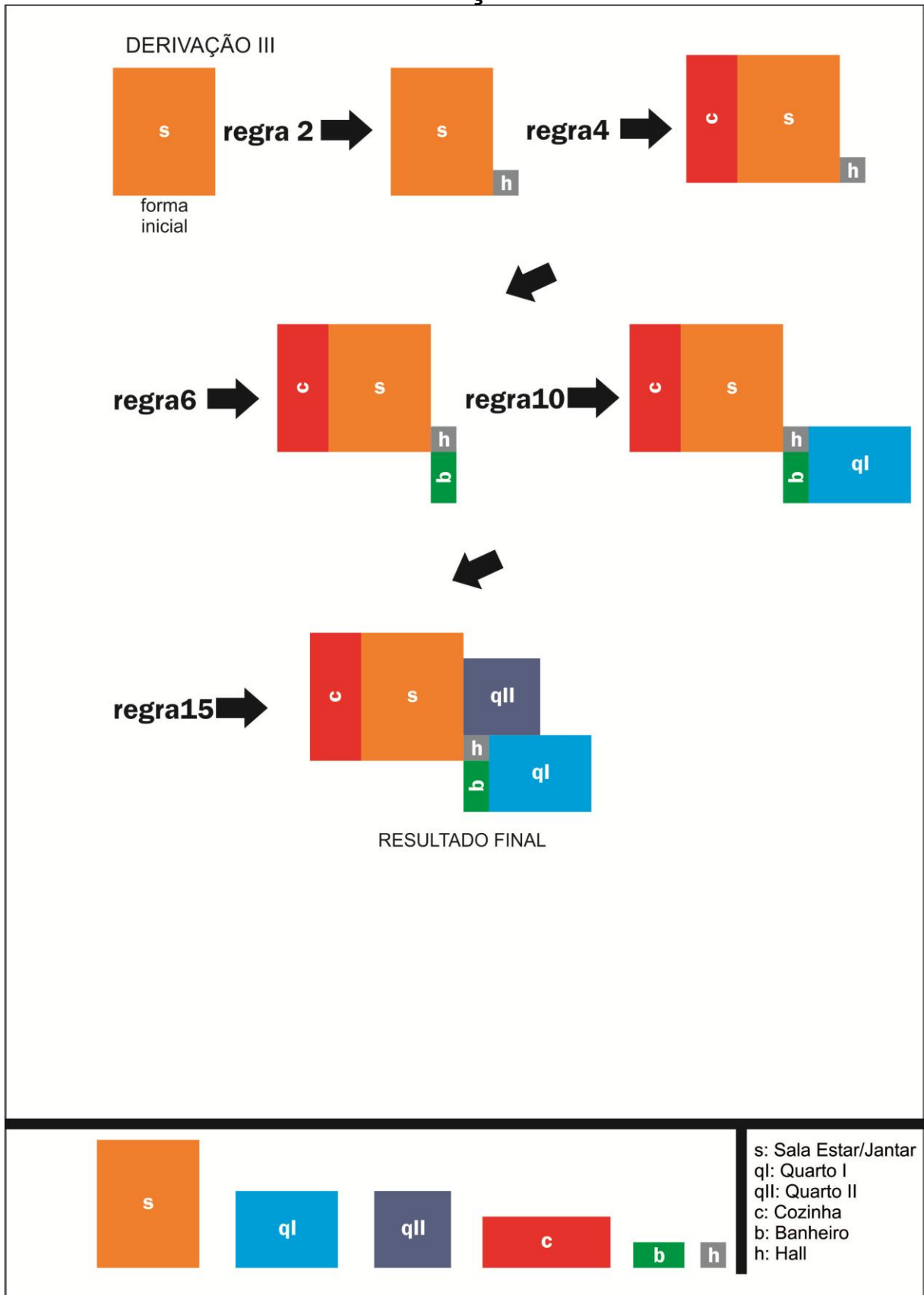
STINY, G.; GIPS, J. **Algorithmic Aesthetics: Computer Models for Criticism and Design in The Arts**. 1ª edição. ed. Berkeley: University of California, 1978.

- STINY, G.; MITCHELL, W. J. **The Palladian Grammar**. Environment and Planning B. [S.l.]: [s.n.]. 1978. p. 5-18.
- TERZIDIS, K. **Computers and creative process**. Architectural Computing from Turing to 2000. Liverpool: eCAADe Conference Proceedings. 1999. p. 43-50.
- TERZIDIS, K. **Algorithmic Architecture**. 1ª Edição. ed. Oxford: Elsevier, 2006.
- WEBER, R. **A Linguagem da Estrutura na Obra de Vilanova Artigas**. 2005. 133f. Dissertação(Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Programa de Pesquisa e Pós Graduação em Arquitetura da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2005.
- WIRTH, L. **El Urbanismo como modo de vida**, 2005. Disponível em: <http://aprender.unb.br/file.php/143/Louis_Wirth.pdf>. Acesso em: 30 Setembro 2009.
- ZEVI, B. **Saber Ver a Arquitetura**. 5ª Edição. ed. São Paulo: Martins Fontes, v. único, 1996.

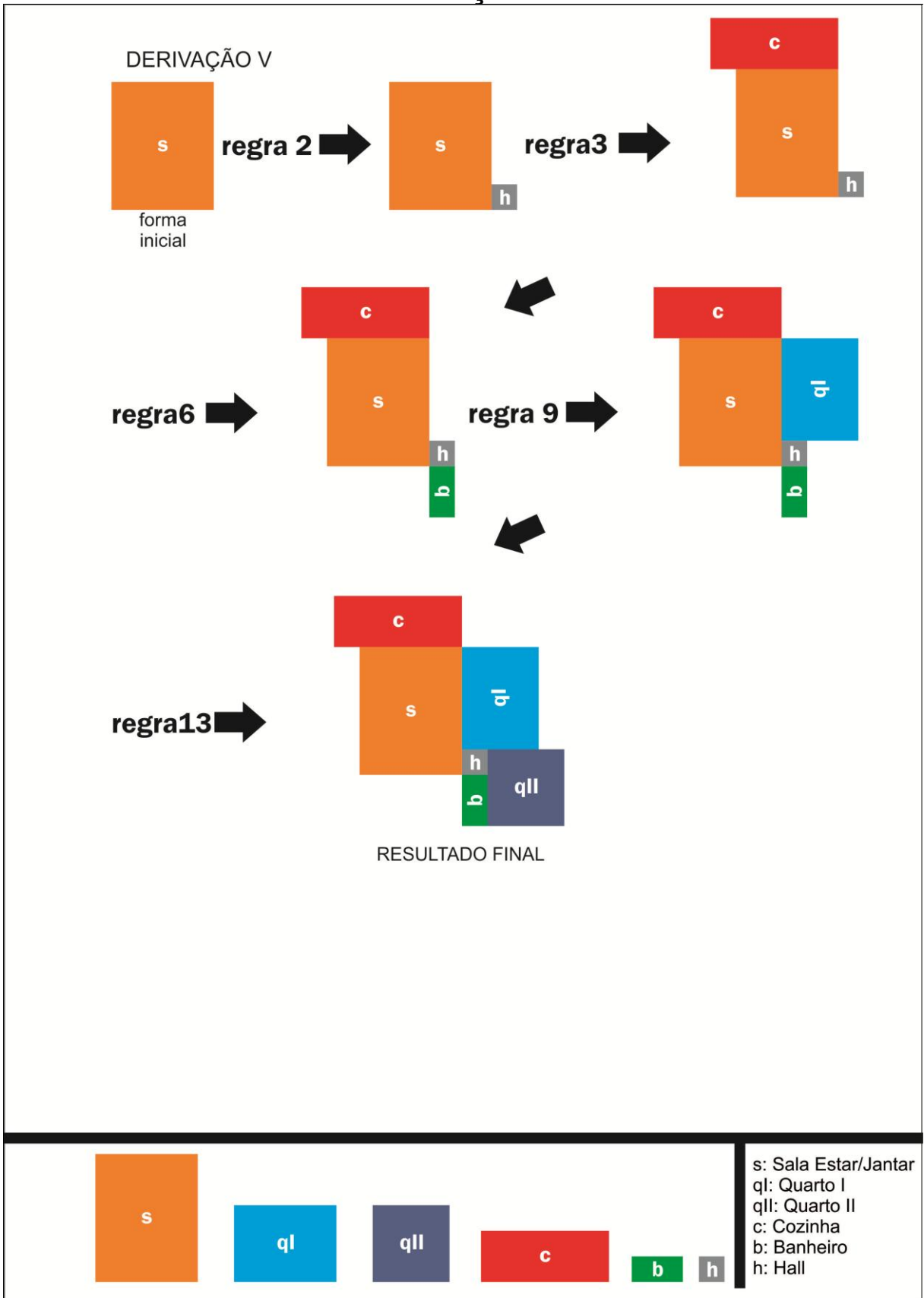
,

ANEXOS

ANEXO I – DERIVAÇÕES: DERIVAÇÃO III



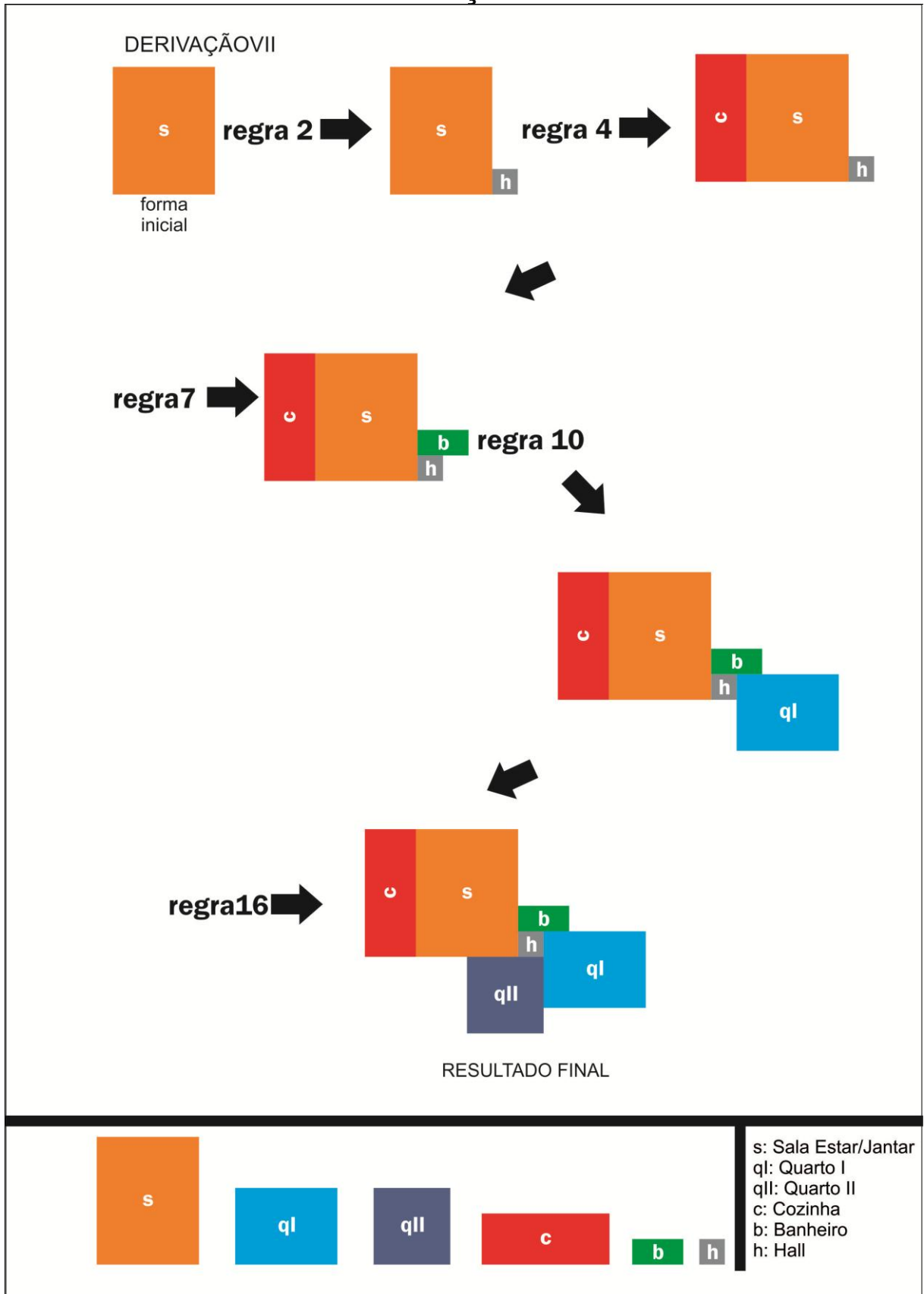
DERIVAÇÃO V



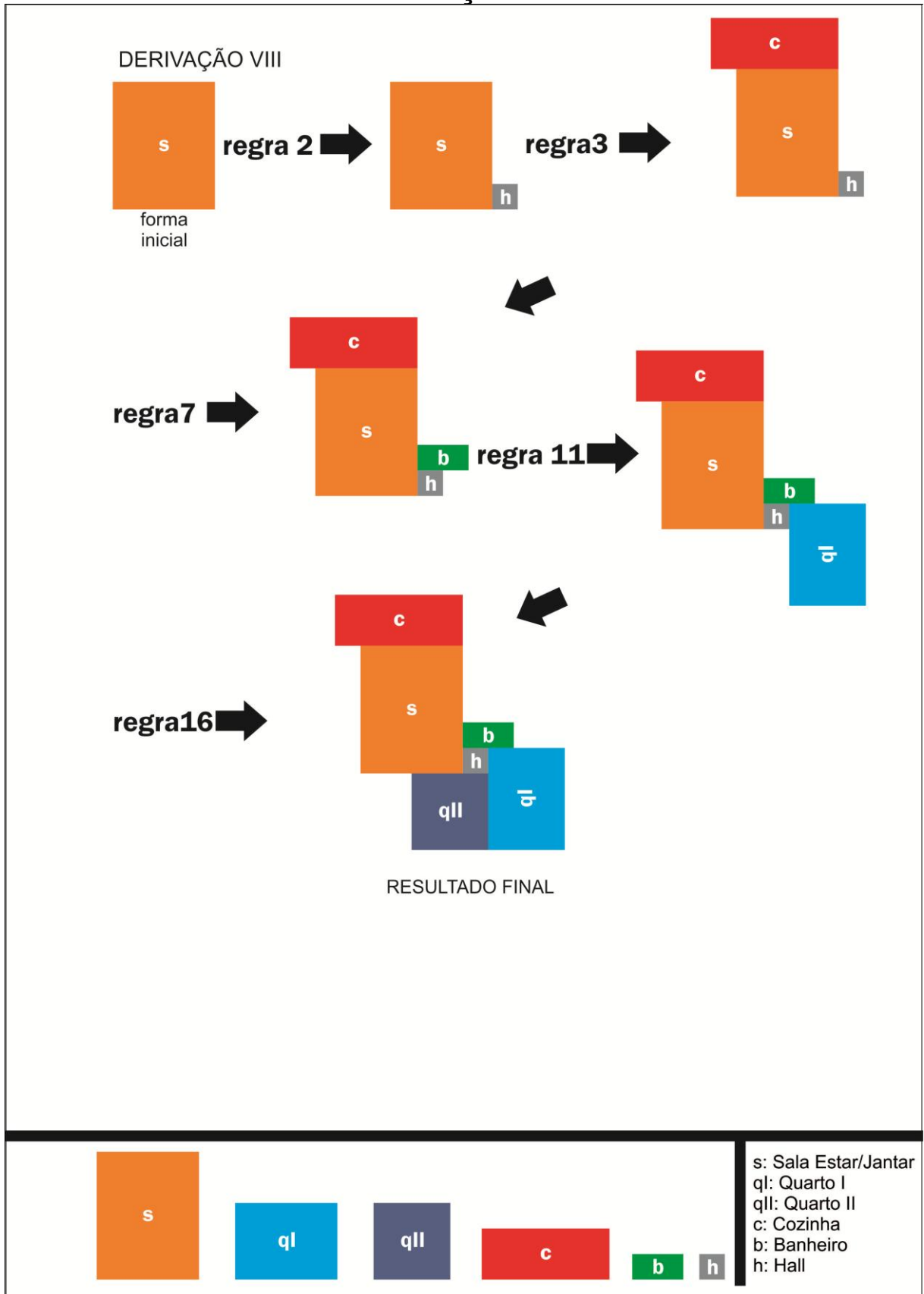
DERIVAÇÃO VI



DERIVAÇÃO VII

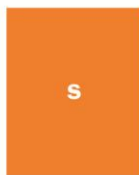
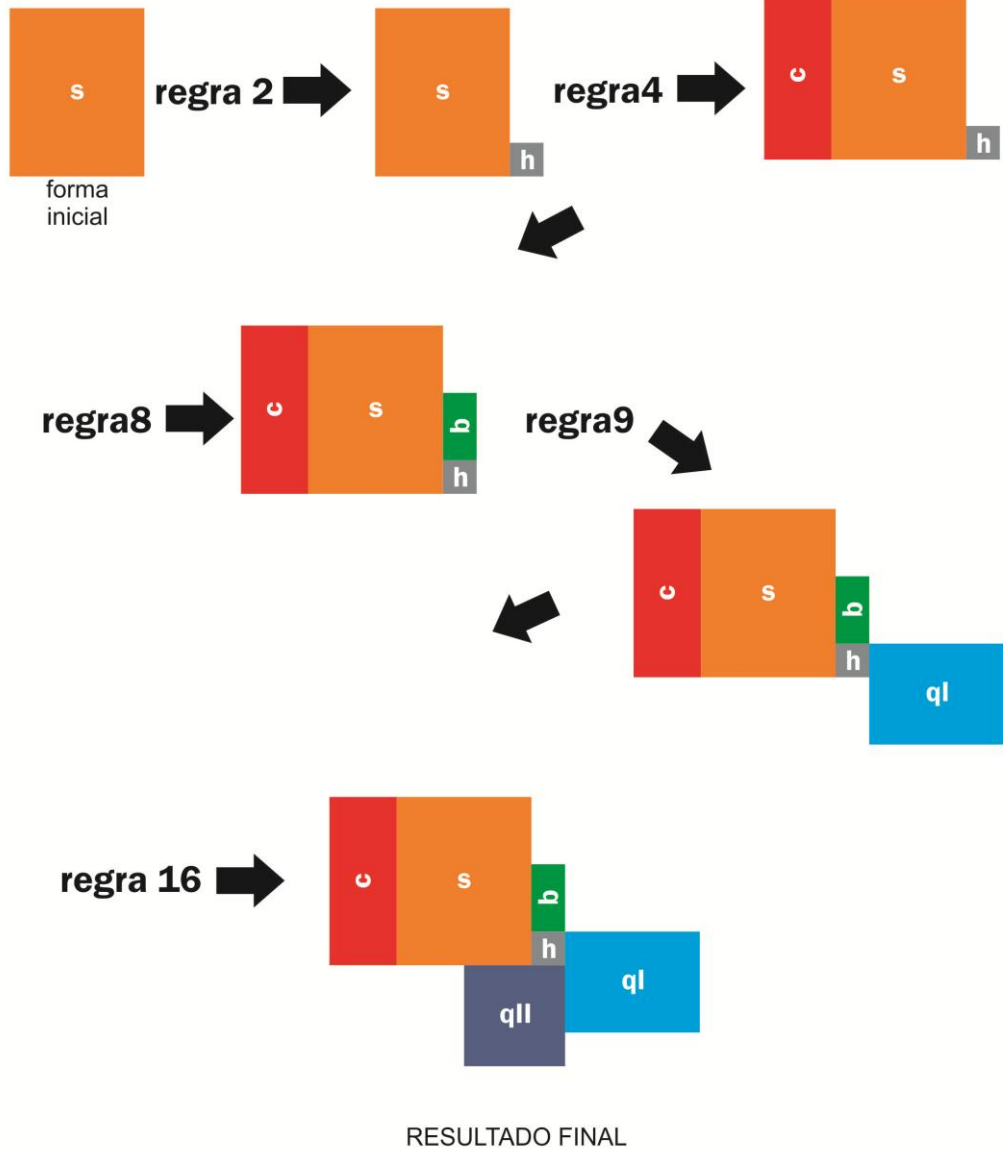


DERIVAÇÃO VIII



DERIVAÇÃO IX

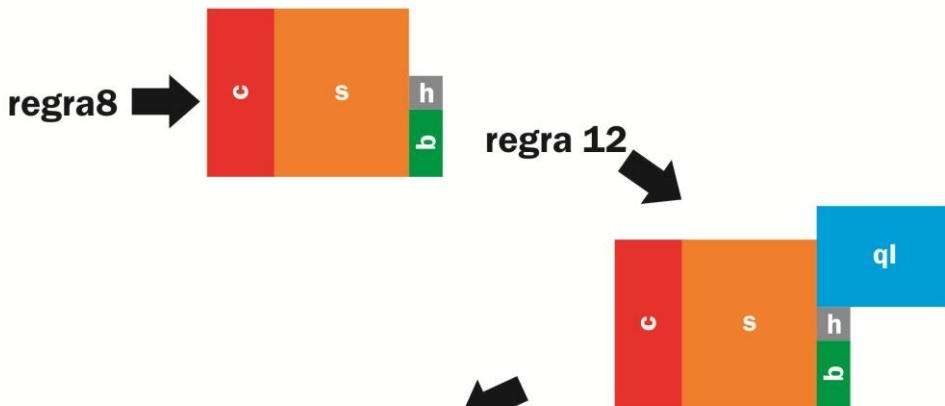
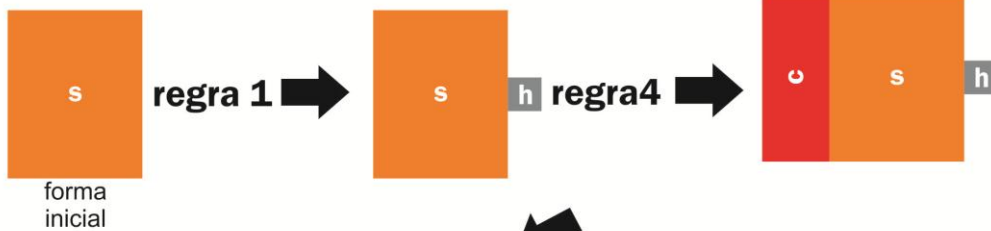
DERIVAÇÃO IX



s: Sala Estar/Jantar
ql: Quarto I
qll: Quarto II
c: Cozinha
b: Banheiro
h: Hall

DERIVAÇÃO X

DERIVAÇÃO X

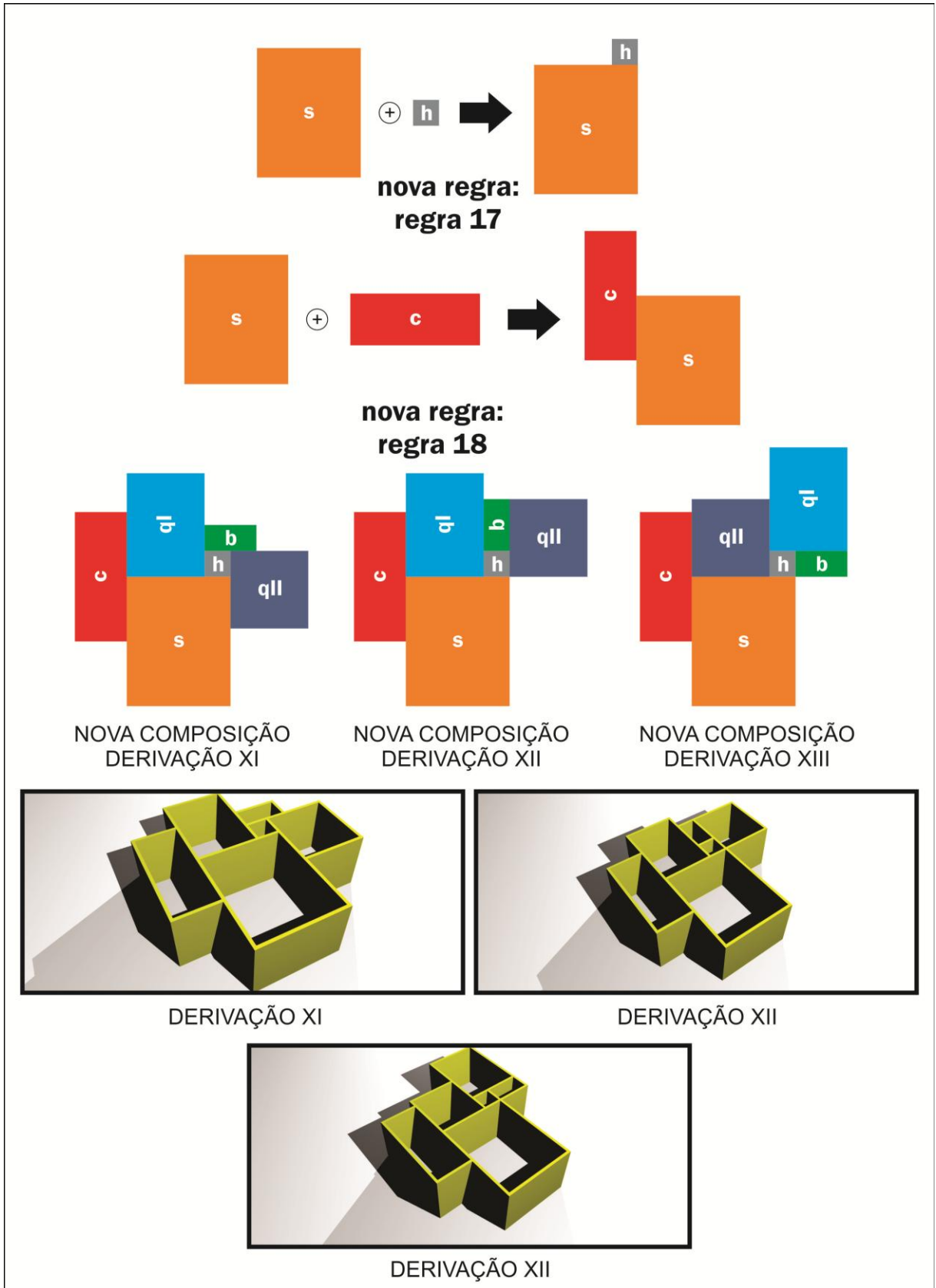


RESULTADO FINAL

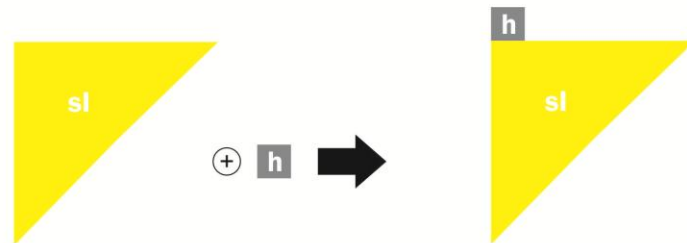


s: Sala Estar/Jantar
 ql: Quarto I
 qll: Quarto II
 c: Cozinha
 b: Banheiro
 h: Hall

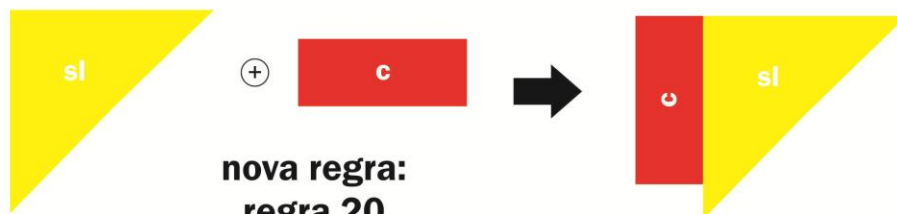
ANEXO II: DERIVAÇÕES GERADAS A PARTIR DA INSERÇÃO DE UMA NOVA REGRA



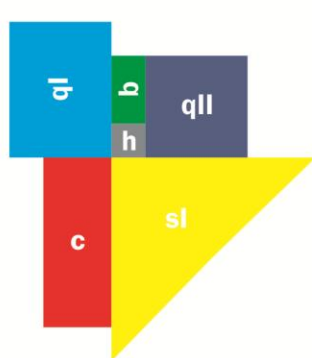
ANEXO III: DERIVAÇÕES GERADAS A PARTIR DA INSERÇÃO DE UMA NOVA REGRA E DE UM NOVO ELEMENTO



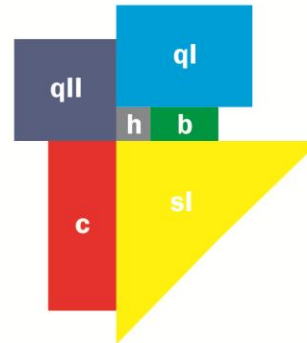
**nova regra e novo elemento sl:
regra 19**



**nova regra:
regra 20**



**NOVA COMPOSIÇÃO
DERIVAÇÃO XIV**



**NOVA COMPOSIÇÃO
DERIVAÇÃO XV**

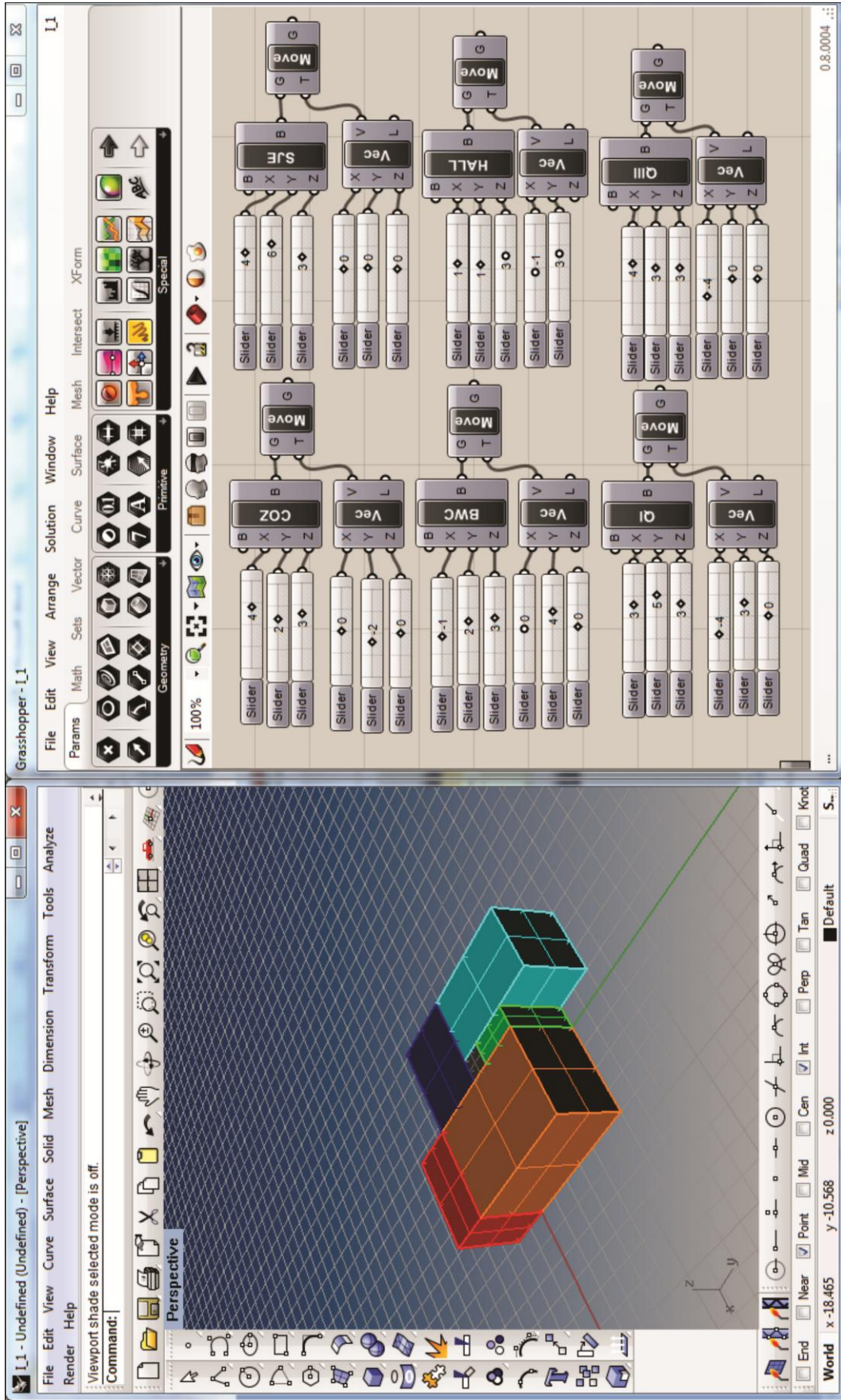


DERIVAÇÃO XIV

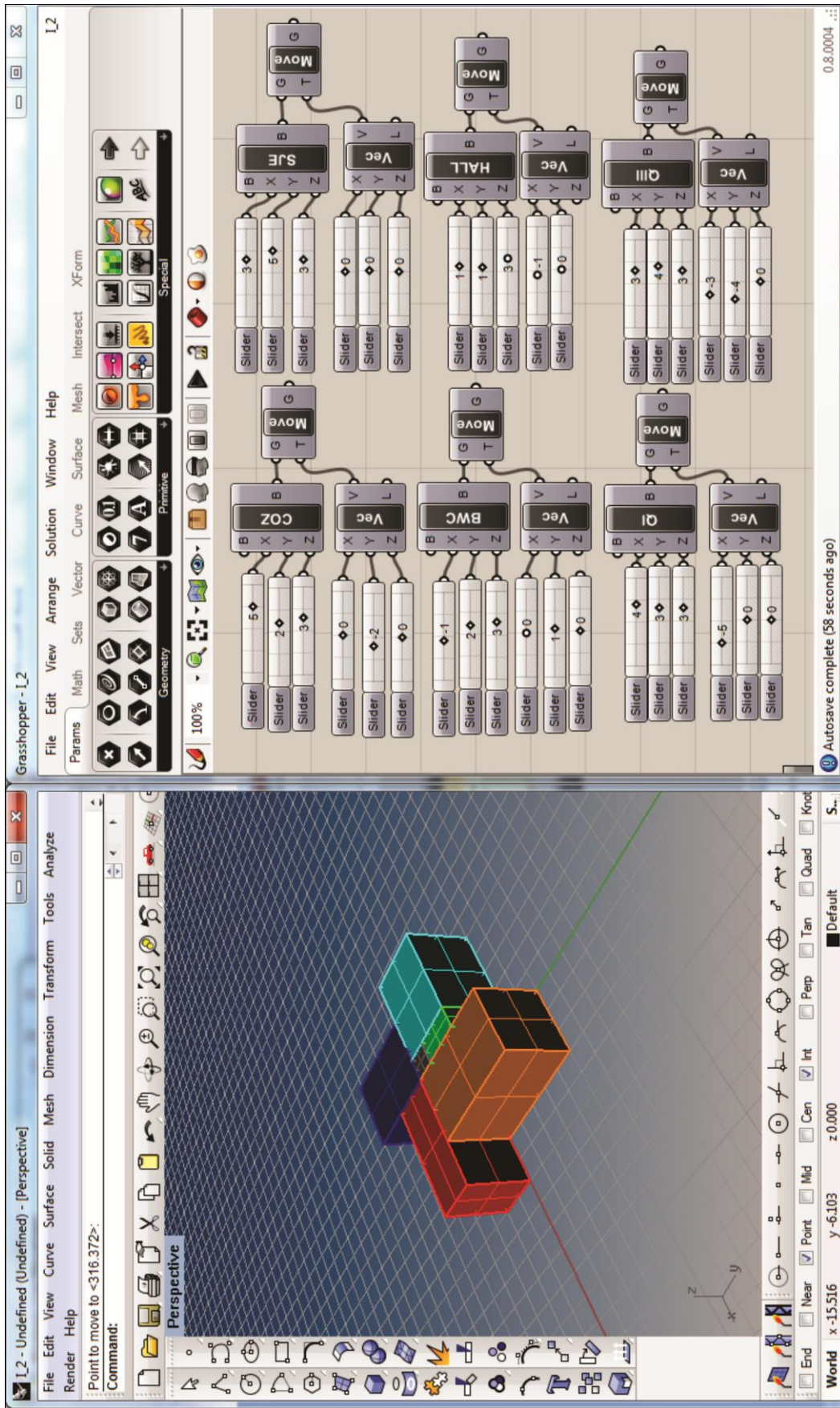


DERIVAÇÃO XV

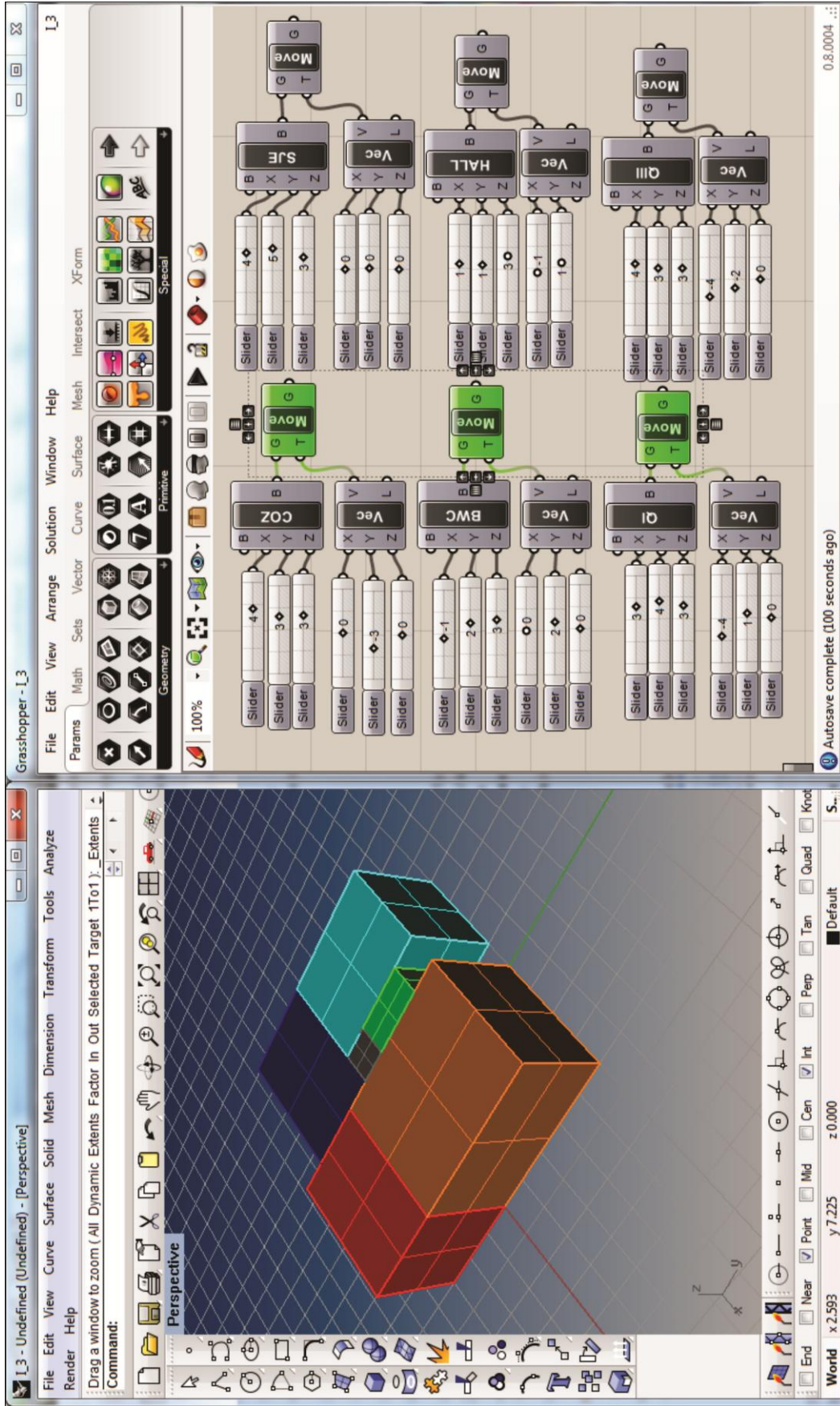
ANEXO IV



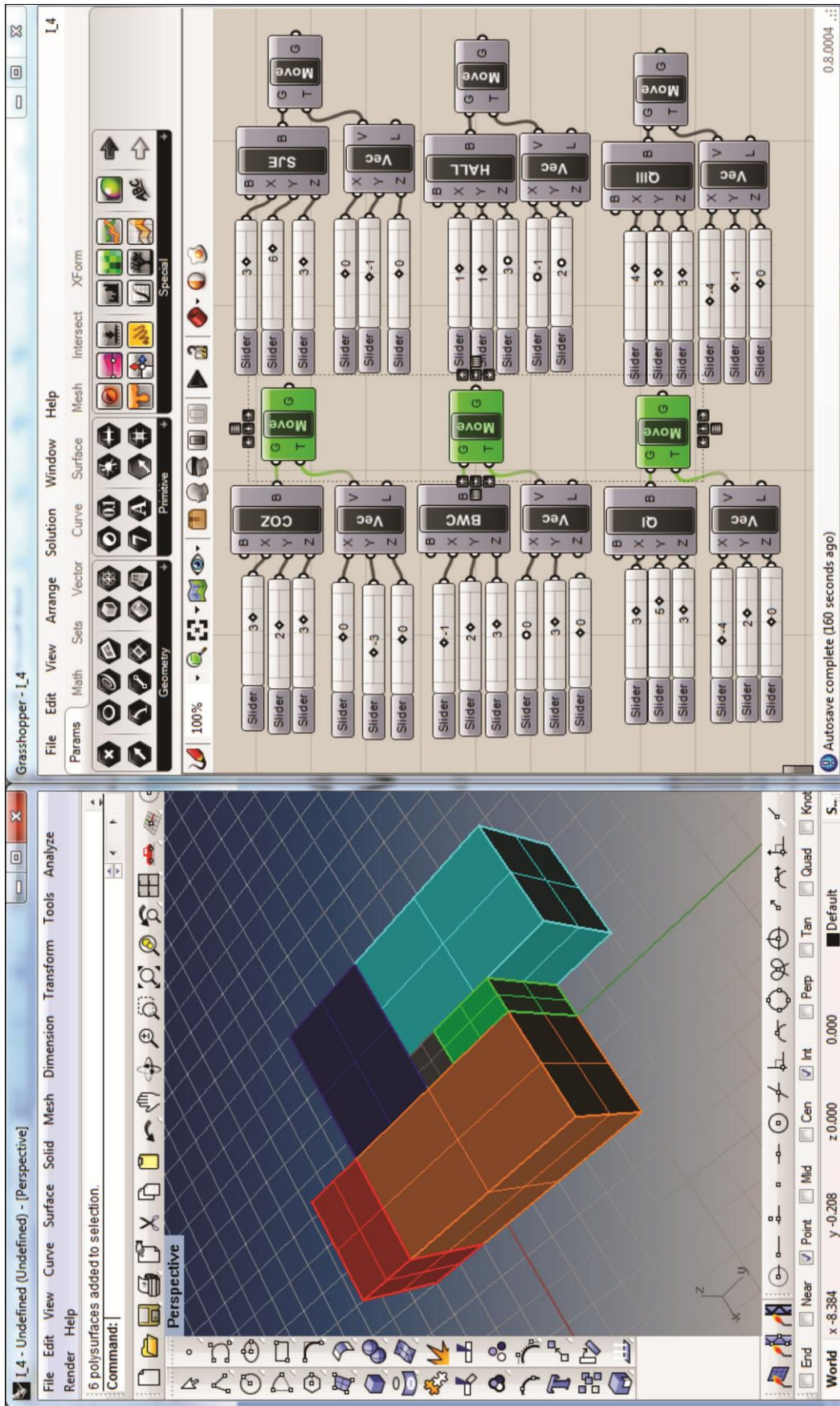
INSTÂNCIA - 1



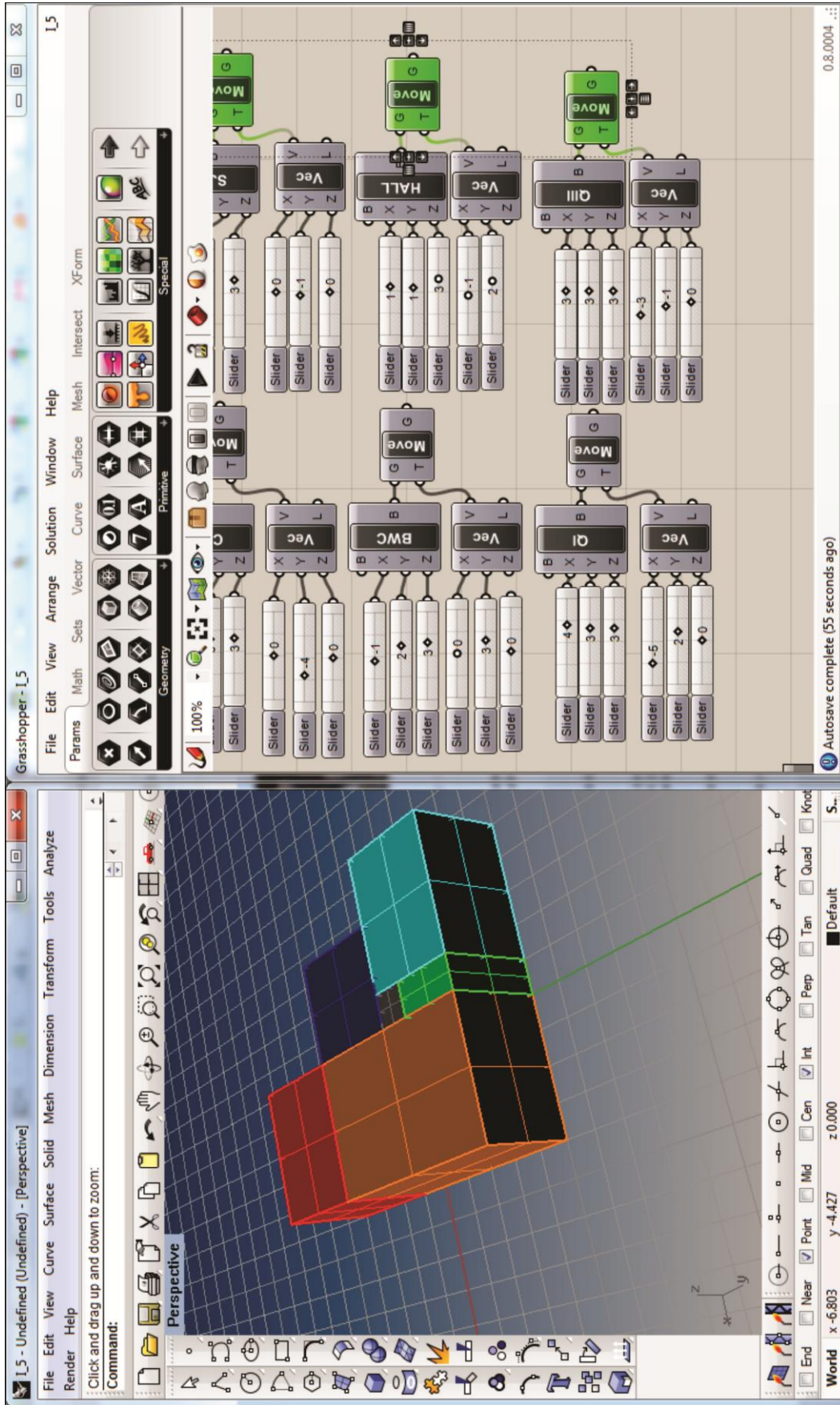
INSTÂNCIA - 2



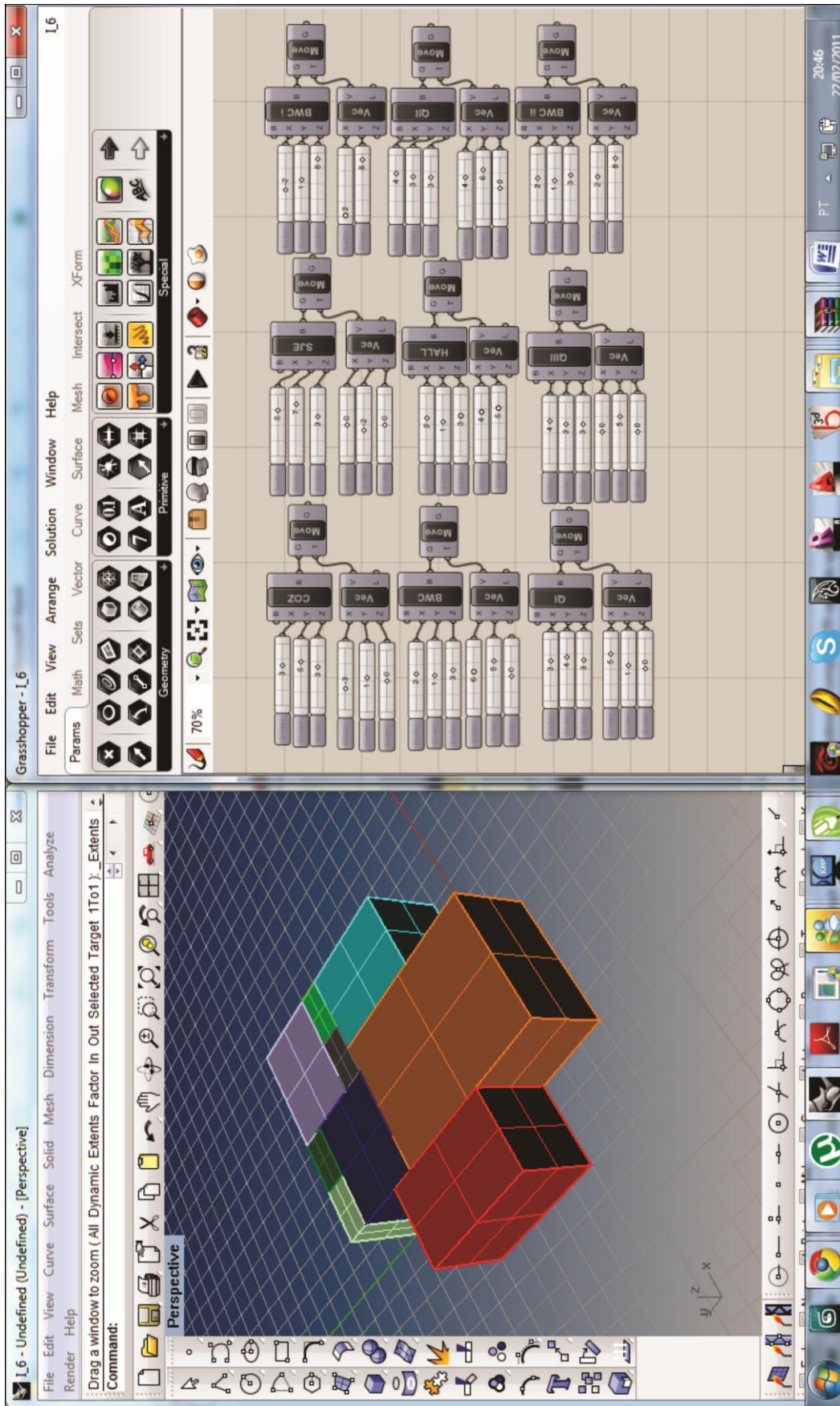
INSTÂNCIA - 3



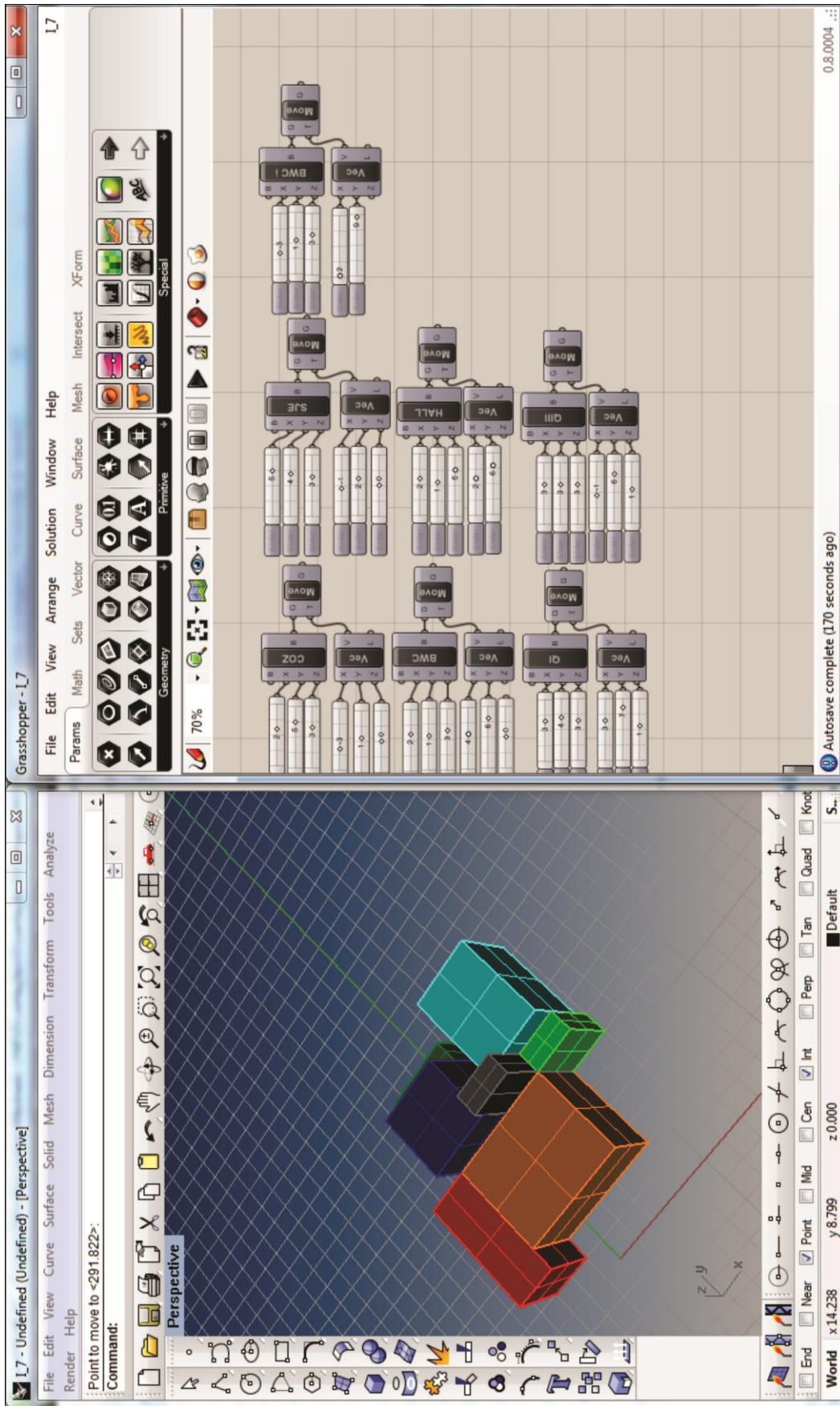
INSTÂNCIA - 4



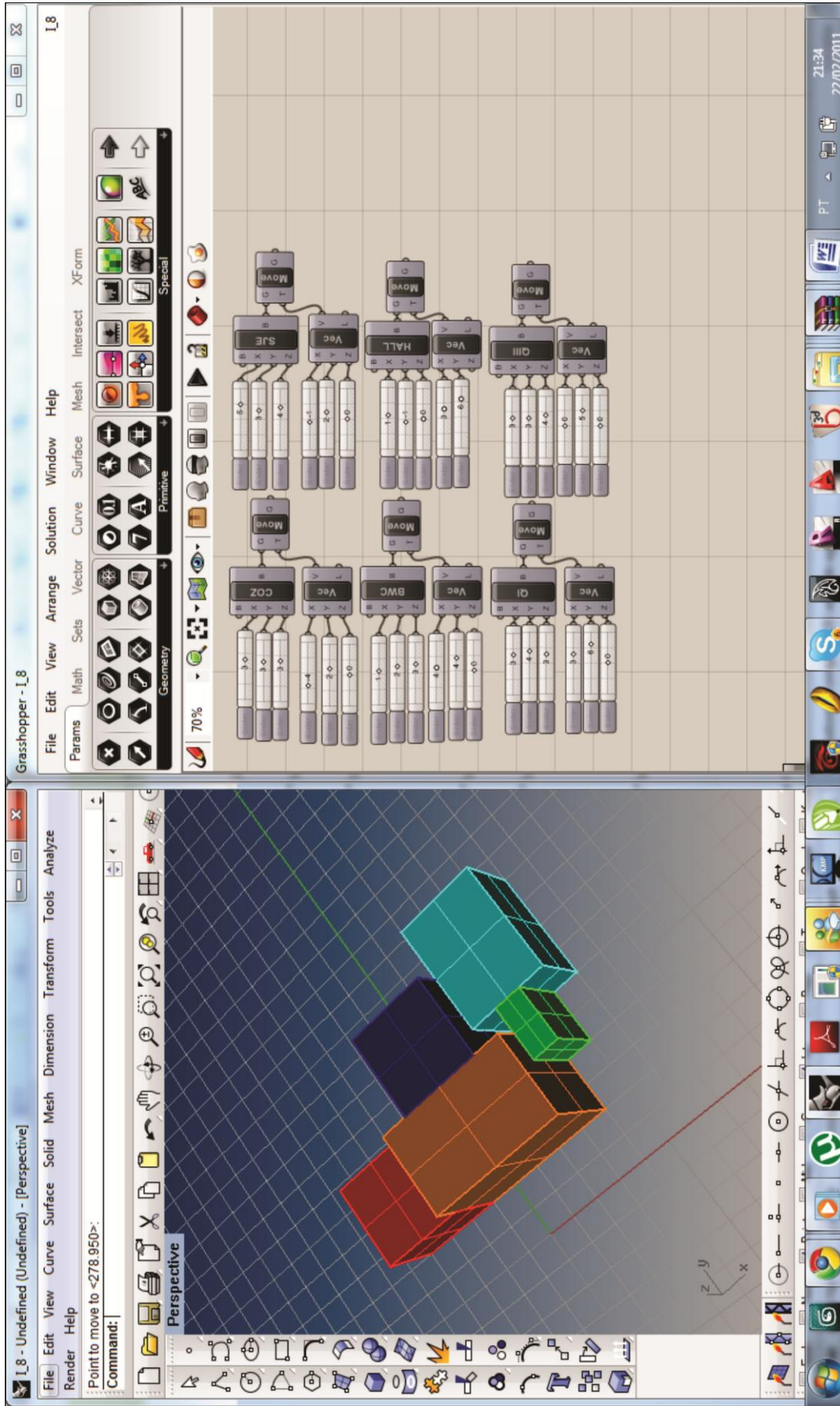
INSTÂNCIA - 5



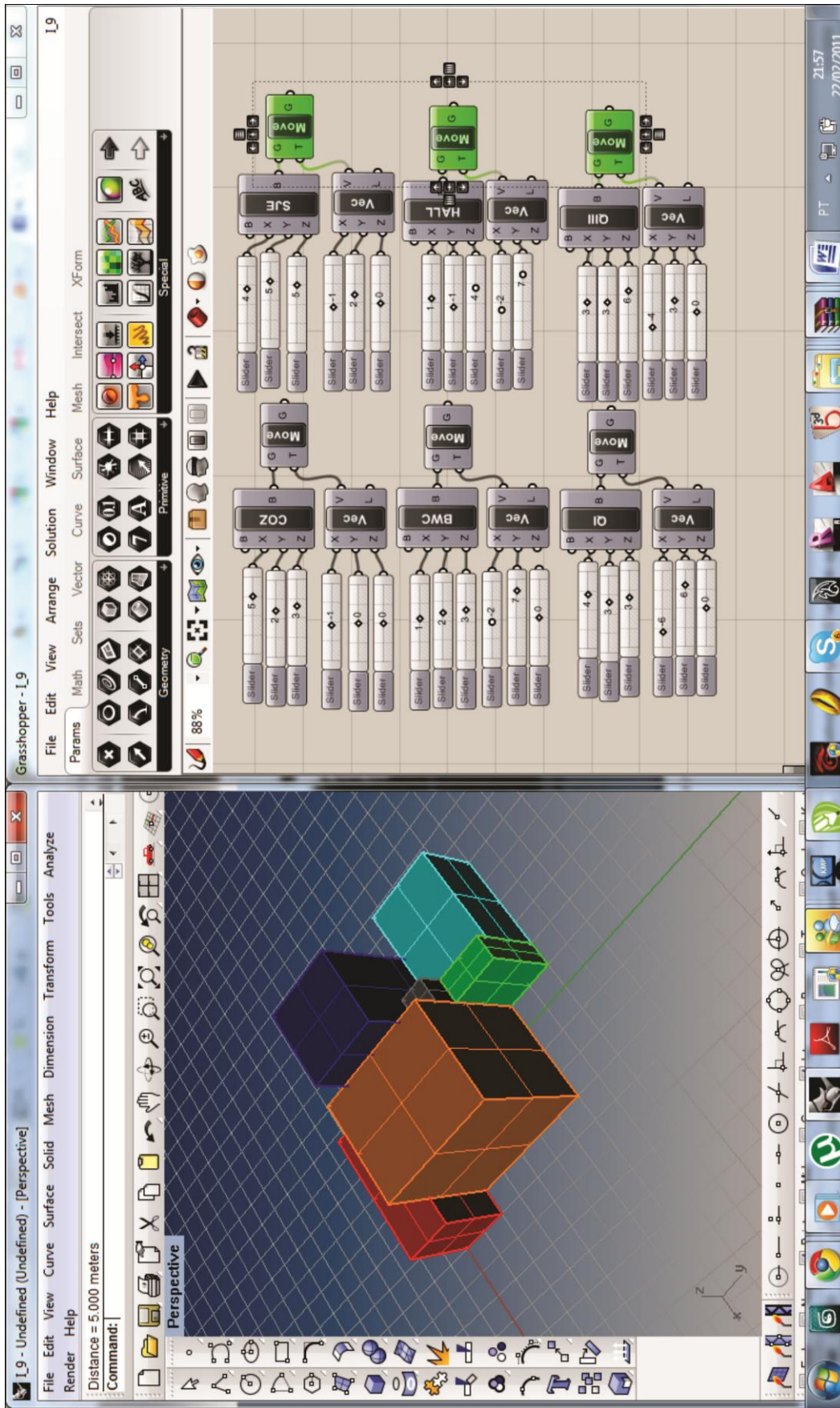
INSTÂNCIA - 6



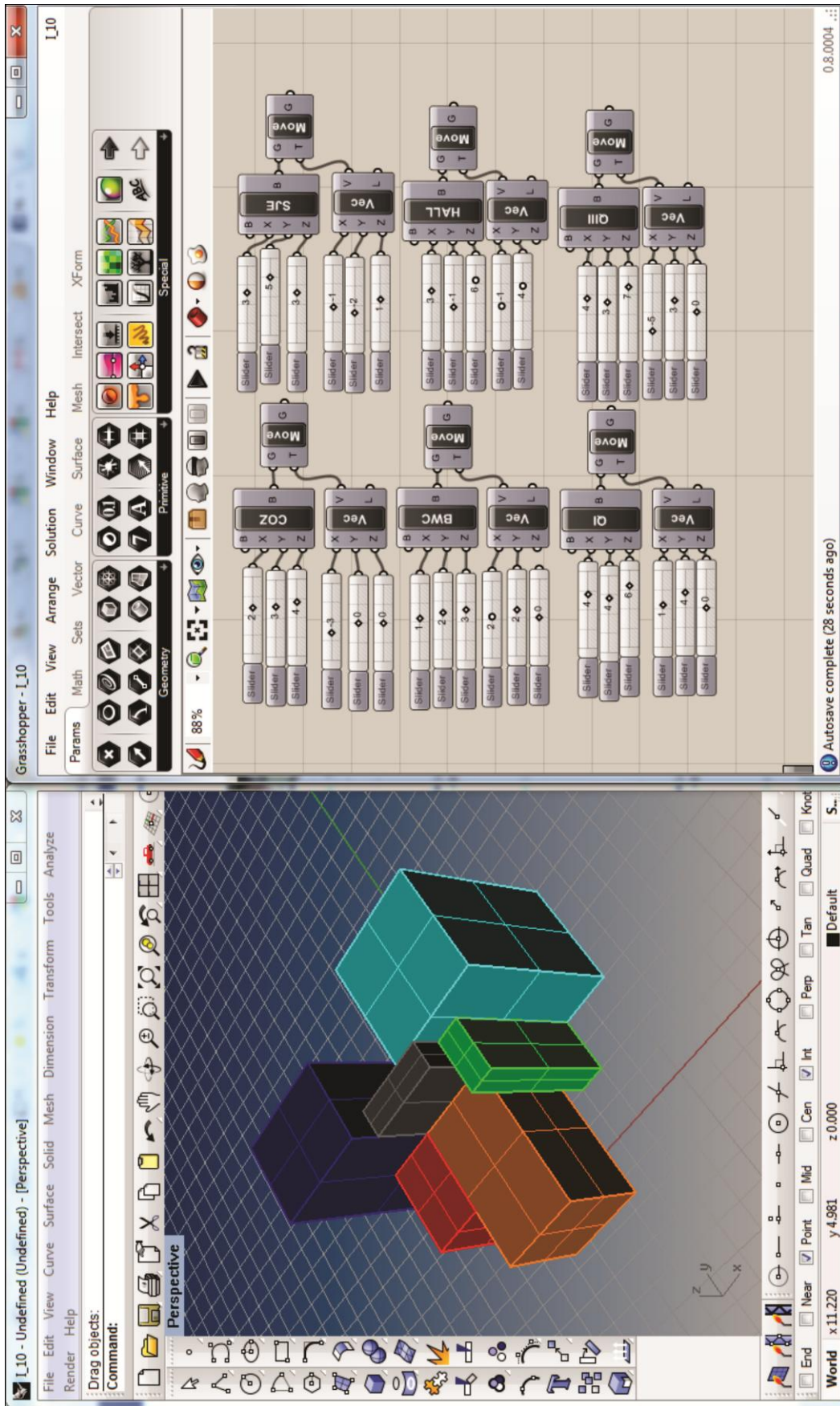
INSTÂNCIA - 7



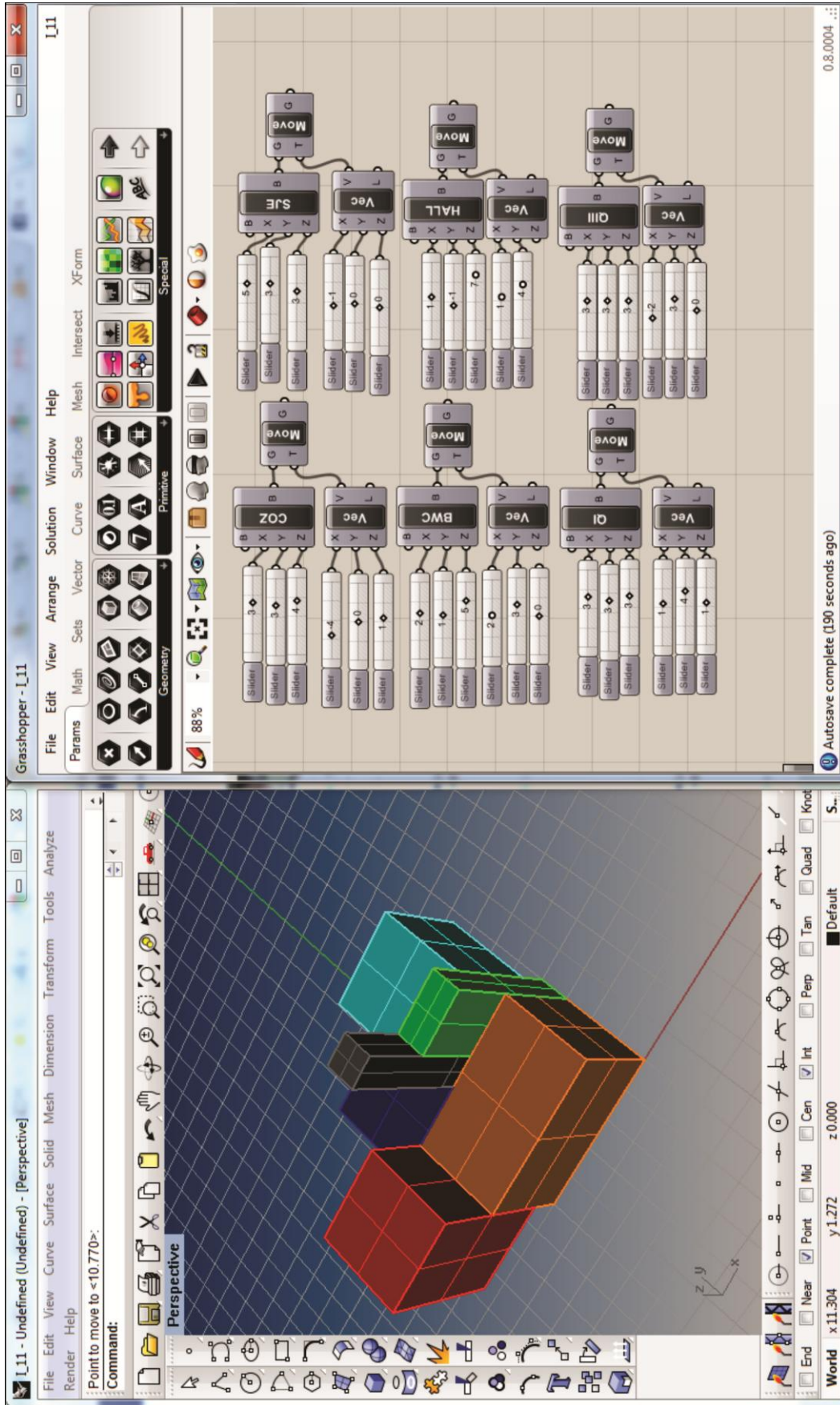
INSTÂNCIA - 8



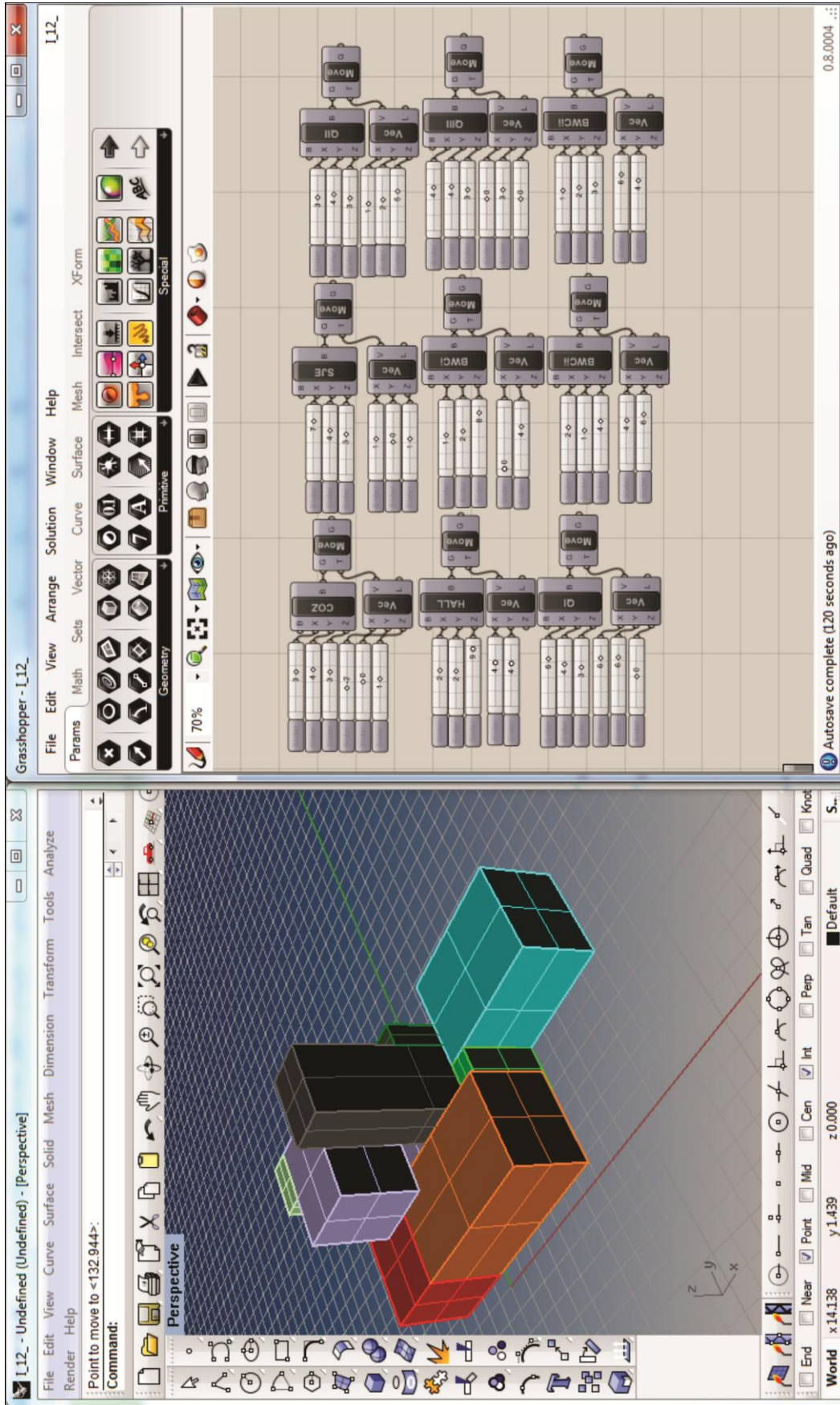
INSTÂNCIA - 9



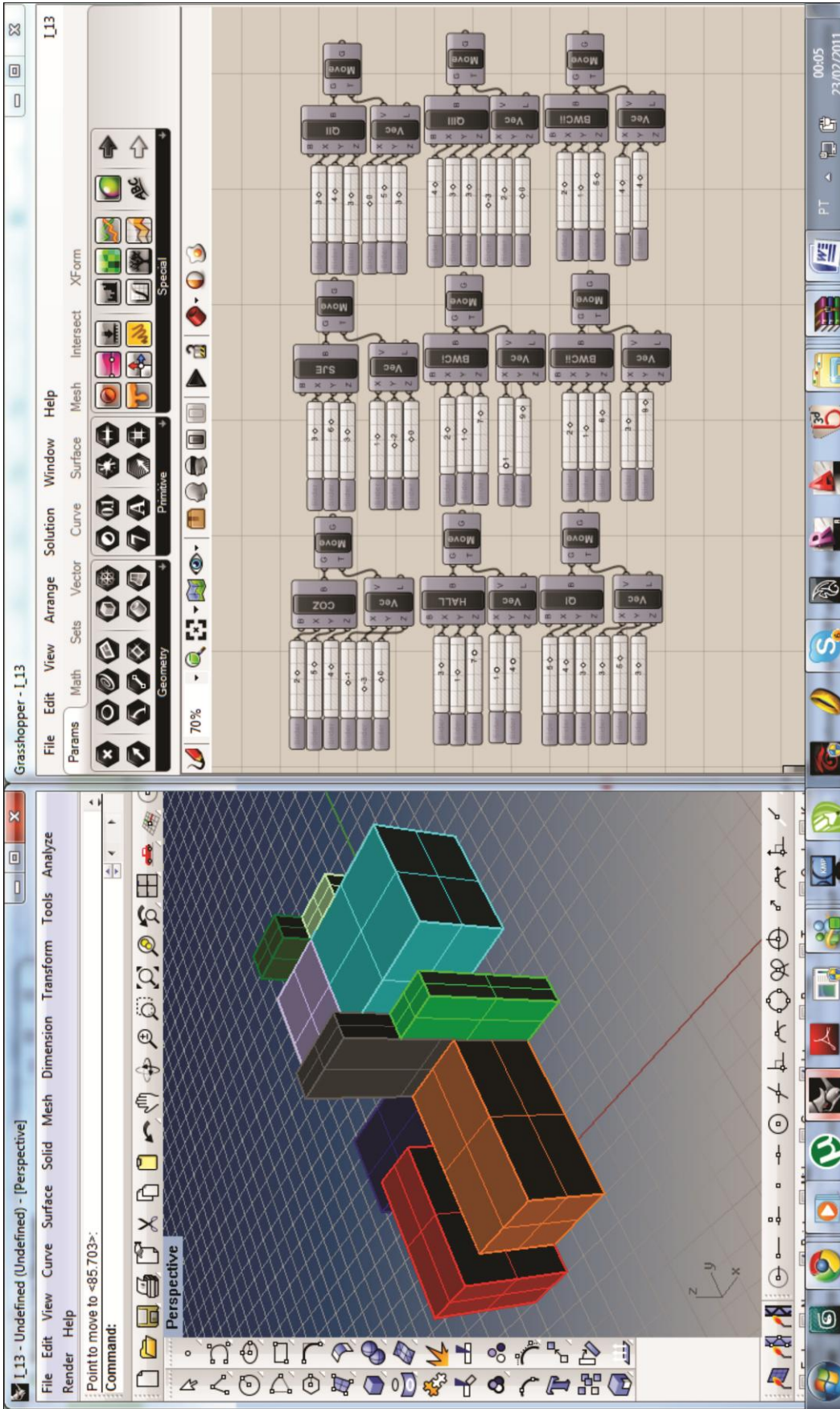
INSTÂNCIA - 10



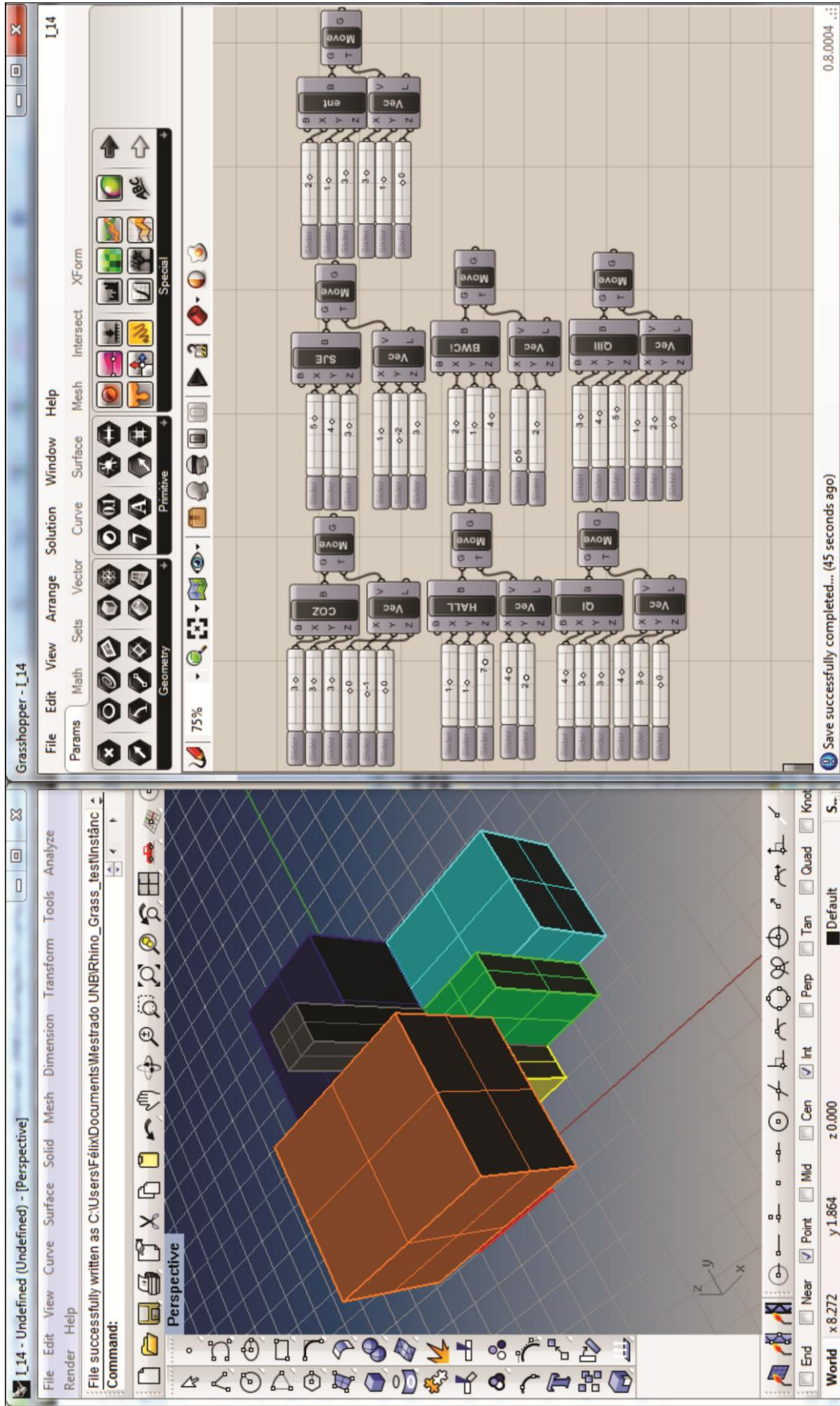
INSTÂNCIA - 11



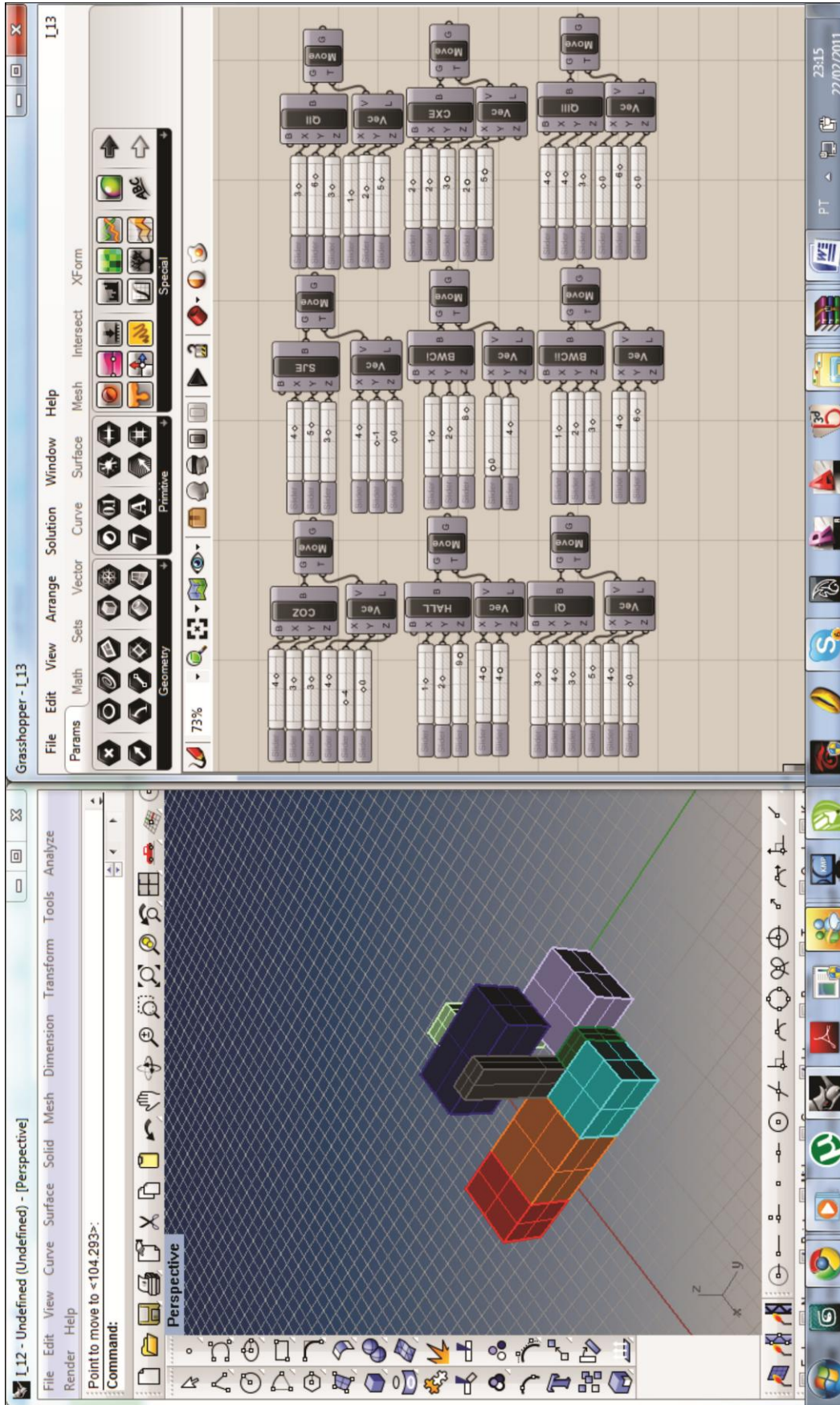
INSTÂNCIA - 12



INSTÂNCIA - 13



INSTÂNCIA - 14



INSTÂNCIA - 15