



O uso de um modelo paramétrico para a produção de variabilidade formal em habitações de pequeno porte

***The use of the parametric model to achieve formal
variability in small homes***

***El uso del modelo paramétrico para la producción de
variabilidad formal en habitaciones pequeñas***

ALVES DA SILVA JÚNIOR, Félix¹
SILVA, Neander Furtado²

¹Depto. Engenharia Civil e Ambiental - FT, Universidade de Brasília, Brasília, Brasil. felixsilva@gmail.com
ORCID: 0000-0003-3871-903X

²Programa de Pós-Graduação – PPG-FAU, Universidade de Brasília, Brasília, Brasil. neander.furtado@gmail.com
ORCID: 0000-0001-8531-2852

Recebido em 27/03/2020 Aceito em 15/05/2020



Resumo

A utilização de métodos paramétricos de projeto tem sido comum em edificações de grande porte dotadas de programas arquitetônicos complexos. São poucos os exemplos da utilização destes processos em edificações de pequeno porte. Esta pesquisa demonstra como utilizar métodos generativos paramétricos no desenvolvimento de arquiteturas de pequeno porte. A escolha por essa escala arquitetônica parte da percepção de que a maioria dos arquitetos irá trabalhar com essa categoria de projeto. Ao fazer uso de estratégias paramétricas no projeto de habitações individuais, é possível auxiliar na difusão destas metodologias. Inicialmente, foi definido um programa de necessidades para uma habitação unifamiliar. Este programa foi parametrizado por meio do Grasshopper e do Rhinoceros, resultando em um modelo paramétrico. A partir deste modelo inicial foram executadas variações geométricas para produzir novas soluções volumétricas. O uso da modelagem paramétrica permite que o projetista tenha um amplo controle sobre elemento projetado. Esta abordagem possibilita a rápida obtenção de um conjunto de soluções, por meio da manipulação das variáveis e relações que caracterizam o objeto.

Palavras-Chave: Projeto paramétrico; variação paramétrica; customização em massa; variabilidade.

Abstract

The use of generative design methods has been common in large buildings with complex architectural programs. There are few examples of the use of these processes in small buildings. This research demonstrates how to use parametric generative design methods in the development of small architectures. The choice for this architectural scale starts from the perception that most architects will work with this category of project. When using parametric strategies in the design of individual housing, it is possible to assist in the dissemination of these methodologies. Initially, a design program for single-family housing was defined. This program was parameterized using Grasshopper and Rhinoceros, resulting in a parametric model. From this initial model, geometric variations were performed to produce new volumetric solutions. The use of parametric modeling allows the designer to have extensive control over the designed element. This approach makes it possible to quickly obtain a set of solutions, by manipulating the variables and relations that characterize the object.

Key-Words: Parametric Design; parametric variation; mass customization; variability.

Resumen

El uso de métodos de proyecto paramétrico ha sido común en edificaciones con programas arquitectónicos complejos. Hay pocos ejemplos del uso de estos procesos en edificios de pequeña escala. Esta investigación expone cómo utilizar métodos paramétricos generativos en el desarrollo de pequeñas arquitecturas. La elección de esta escala arquitectónica se basa en la percepción de que la mayoría de los arquitectos trabajarán con esta categoría de edificaciones. A utilización de estrategias paramétricas en el proyecto de viviendas unifamiliares, puede auxiliar en la difusión de estas metodologías. En este artículo se definió un programa de necesidades para viviendas unifamiliares. Este programa fue parametrizado utilizando Grasshopper y Rhinoceros, lo que resultó en un modelo paramétrico. A partir de este modelo inicial, se realizaron variaciones geométricas para producir nuevas soluciones volumétricas. El uso del modelado paramétrico permite al arquitecto poseer un control extenso sobre el elemento proyectado. Este enfoque permite obtener rápidamente un conjunto de soluciones, manipulando las variables y relaciones que caracterizan el objeto.

Palabras clave: Proyecto Paramétrico; Variación paramétrica; personalización en masa; variabilidad.

1.Introdução

Este trabalho tem por finalidade demonstrar como ferramentas de projeto paramétrico podem ser utilizadas para a concepção projetual de residências unifamiliares de pequeno porte, sob a perspectiva da obtenção de soluções de projeto adaptáveis. Para isto foi produzido o modelo geométrico paramétrico do projeto de uma habitação unifamiliar. Este modelo permitiu que, com a utilização de variações paramétricas, fosse possível produzir novas soluções projetuais.

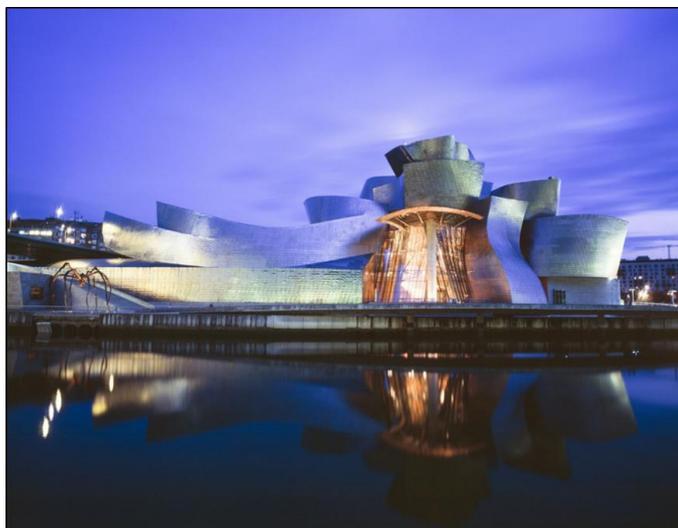
A utilização de um método de projeto paramétrico possibilita que o arquiteto explore diversas possibilidades de soluções formais para um mesmo o programa arquitetônico. Ao mesmo tempo, esta estratégia projetual garante que as soluções obtidas sejam facilmente modificadas. Esta característica, do projeto paramétrico, pode ser utilizada para viabilizar a produção de soluções projetuais customizadas ou para o desenvolvimento de estudos de propostas arquitetônicas.

As novas condições tecnológicas proporcionadas pelo desenvolvimento e difusão dos sistemas computacionais apresentam a possibilidade de fabricação e produção de habitações que contemplem a customização em massa, este cenário impulsiona a utilização de novos métodos digitais de construção e projeção. Dessa forma, utilizar ferramentas computacionais representa 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 variadas e adaptáveis a necessidades individuais ou mesmo às exigências ambientais locais (BERGDOLL e CHRISTENSEN, 2008).

Apesar da ampla difusão de *softwares* de projeto ainda é comum que arquitetos utilizem ferramentas computacionais apenas para executar a documentação projetual da solução obtida. Neste contexto o uso dos computadores fica centrado nos processos de representação, a citar: produção de plantas baixas, cortes, fachadas, modelagens tridimensionais foto realísticas, animações, passeios virtuais, etc.

Desde a consolidação da lógica paramétrica de projeto, no final da década de 1990, esta estratégia projetual, tem sido utilizada para a produção de edificações de grande complexidade formal e (ou) arquitetônica. Uma das edificações pioneiras na utilização de ferramentas de projeto paramétrico é o museu Guggenheim de Bilbao (**Figura 1**). O edifício é o resultado de uma série de experimentos realizados por Frank Gehry e sua equipe com o objetivo de garantir a construção da edificação. Ao mesmo tempo, houve a tentativa de encontrar ferramentas que pudessem auxiliar no projeto e na construção de edificações dotadas de superfícies curvas e complexas (MITCHELL, 2006, p. 3).

Figura 1: Museu Guggenheim Bilbao, Gehry and Partners, 1998.





Fonte: <http://images.guggenheim-bilbao.es/src/uploads/2012/05/012.jpg>

Além dos projetos desenvolvidos por Frank Gehry, existem um grande número de profissionais que fazem uso de métodos computacionais de projeto. No entanto, a grande maioria dos usos dados a estes processos digitais arquitetônicos têm sido realizados em edifícios de elevada complexidade programática e formal. Este trabalho propõe a aplicação do projeto paramétrico para o desenvolvimento de projetos de pequeno porte, no caso o de uma habitação unifamiliar. A escolha do programa arquitetônico de uma habitação se deu também pelo fato de que boa parte dos arquitetos no Brasil trabalham (ou trabalharão com) o desenvolvimento de projetos de pequeno porte.

2. Fundamentação teórica

2.1. Os Sistemas Computacionais e o Processo de Projeto Arquitetônico

O uso de ferramentas computacionais na arquitetura e na construção induz a uma nova abordagem do processo de projeção. A fabricação digital e a prototipagem rápida permitem 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. Deste modo, o profissional pode fazer uso das mesmas técnicas e materiais utilizados na construção da obra (SASS e RIVKA, 2006, p. 333).

O ato computacional está relacionado a aplicação de procedimentos lógicos para a solução de um problema. Os *softwares* funcionam como um mediador entre as intenções do projetista e a produção das representações formais. As formas são produzidas no ambiente computacional e exibidas na tela do computador. As ferramentas computacionais auxiliam a resolução de problemas a partir da aplicação de um conjunto lógico de procedimentos. Para integrar o ato computacional ao processo projetual é necessária uma estratégia projetual baseada na solução de problemas de projeto. Segundo Terzidis (2015, p. 59), o processo projetual pode ser definido como uma sequência de ações, que inicia com uma inspiração, seguida por um rascunho, uma prancha de desenho técnico, uma maquete. Esse conjunto de etapas e o material produzido tem como finalidade transmitir a ideia (ou a intenção) do arquiteto.

Softwares de simulação e de modelagem paramétrica, tem permitido o surgimento de métodos projetuais baseados na resolução de problemas arquitetônicos. Estes processos computacionais auxiliam a produção de soluções arquitetônicas a partir da resolução de problemas de ordem formal, estrutural ou mesmo econômica (SZALAPAJ, 2005). A utilização de ferramentas computacionais em arquitetura altera o foco da produção de projeto, do objeto para os parâmetros que o definem. Estes parâmetros podem estar estruturados em uma sequência de regras, relações e restrições que ao interagirem entre si irão resultar nos elementos arquitetônicos. Neste cenário, o objeto é constituído pelo conjunto de variáveis e as interações entre esses os parâmetros que o constituem (BORDEN, 2014, p. 442).

Neste artigo, demonstramos como uma unidade habitacional unifamiliar pode ser produzida a partir da estruturação dos parâmetros que a constituem. Para isto os parâmetros foram organizados a partir da utilização do *RhinoRhinoceros* em conjunto com o seu *plugin* o *Grasshopper*.

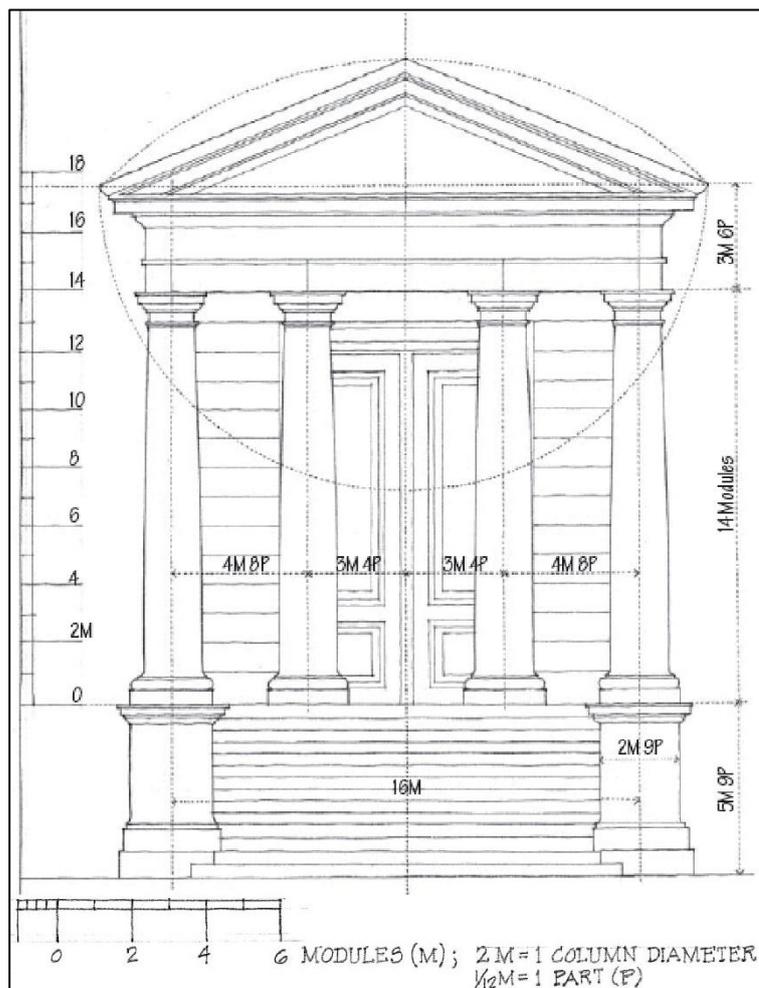
2.2. O Projeto Paramétrico

O conceito de parametria não é novo dentro das teorias CAAD (*Computer Aided Architectural Design*), uma vez que este conceito fora estabelecido na década de 1970 e 1980. No entanto, os aplicativos disponíveis naquele período, eram de difícil uso pelos arquitetos, uma vez que estas ferramentas demandavam conhecimento de linguagem de programação (MARK, GROSS e GOLDSCHMIDT, 2008,

p. 170). O uso de estratégias paramétricas de projeto, no entanto, não é uma prática contemporânea ou que dependa da utilização de computadores. Estes métodos têm sido utilizados com o objetivo de garantir soluções que atendessem a um conjunto de critérios e (ou) que pertencessem a uma determinada linguagem arquitetônica.

Os gregos, na antiguidade clássica foram eficientes em descrever a forma de suas edificações através de fórmulas matemáticas. As edificações produzidas pelos gregos na Antiguidade Clássica (e depois durante o Renascimento, pelos renascentistas) eram definidas através de regras de composição estabelecidas através de relações matemáticas (**Figura 2**).

Figura 2: Fachada de templo da ordem Toscana.



Fonte: CHING (1998, p. 297), adaptado pelo autor.

Estas relações formais partiam do princípio de que algumas relações matemáticas manifestavam a estrutura harmônica do universo, e para garantir essa harmonia as dimensões do edifício eram definidas através da seção áurea (CHING, 1998, p. 286). Em 1978 R. Hyllard propôs um sistema que permitia a especificação de restrições geométricas entre a parte e as coordenadas de um objeto. Esse sistema permitia a manipulação das variáveis do sistema dentro de um intervalo dado. Este conceito serviu de base para a definição do que atualmente entendemos como parametria (MONEDERO, 2000, p. 372).

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).

Rocha (2009) afirma que:

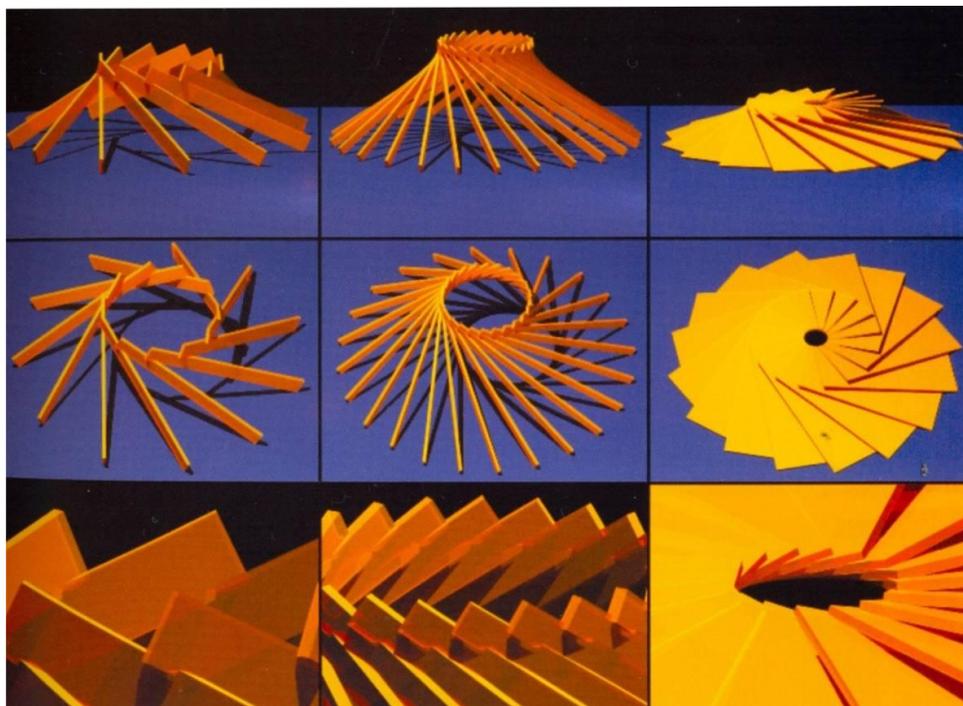
“O Projeto Paramétrico estabelece a descrição algorítmica da geometria, utilizando modelos paramétricos durante o processo de projeto. Os arquitetos podem construir modelos matos e gerar procedimentos que são condicionados por numerosas variáveis. Nos programa que possuem essa capacidade, o *input* declarado é o parâmetro de um projeto, e não a sua forma (*shape*) (ROCHA, 2009, p. 237).”

A partir destes conceitos podemos concluir que o Projeto Paramétrico possibilita a definição de novas soluções a partir da manipulação de seus parâmetros. Neste processo o arquiteto muda o enfoque do trabalho da definição de objetos geométricos para o estabelecimento de elementos paramétricos. Estes elementos são gerados e manipulados a partir das variáveis que compõe o modelo ou o objeto.

O modelo paramétrico é a representação tridimensional computadorizada de um elemento. Essa representação é constituída por conjuntos de formas que possuem alguns atributos fixos e outros parâmetros são variáveis.

O Projeto Paramétrico é um processo em que a solução projetual é definida através da especificação de seus parâmetros. Os elementos formais que caracterizam o projeto são expressos através da variação paramétrica, de forma que cada alteração realizada sobre um componente do conjunto resultará numa forma diferente. A **Figura 3** traz um exemplo de variação paramétrica em que um conjunto de elementos variam entre si a partir da alteração dos parâmetros geométricos (altura, espessura, diâmetro, etc.) que compõe o objeto.

Figura 3: Variações de um mesmo objeto, diferenciado pela alteração dos parâmetros.



Fonte: Kolarevic (2003).



Em um Projeto Paramétrico computacional é possível alterar as relações e os parâmetros que compõem a edificação durante todas as etapas de produção projetual. Isso é possível, porque a manipulação dos parâmetros permite a produção de um conjunto de soluções e não apenas de um único elemento. Essa característica garante flexibilidade ao processo projetual paramétrico (STEINØ e VEIRUM, 2005, p. 681).

No Projeto Paramétrico, a alteração em uma relação provoca modificações em todos os elementos do conjunto, o que resulta na modificação da geometria gerada. A flexibilidade proporcionada em um modelo paramétrico não é possível em ferramentas não paramétricas. Nestas ferramentas as alterações no sistema devem ser feitas em cada um dos elementos que o compõem. Em *softwares* CAD não paramétricos os elementos são definidos de forma isolada, sem uma relação entre as partes e todo (KRYGIEL e BRADLEY, 2008, p. 26).

2.3. A Necessidade de Variabilidade Formal em Soluções Habitacionais

A unidade habitacional tem sido objeto de estudo de arquitetos desde o início do século XX, graças a necessidade de se proporcionar habitações de baixo custo e em grande quantidade. 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. Desta forma os arquitetos modernistas utilizaram o conceito da produção em série e da solução universal, tendo em vista a redução dos custos, a rapidez na construção, para o desenvolvimento de seus projetos (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 déficit habitacional tanto nos países desenvolvidos quanto nos países em desenvolvimento. Isso ocorreu porque essas práticas permitiam a produção de um grande número de unidades habitacionais a um custo reduzido e em um curto espaço de tempo.

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 combinados para produzir soluções adaptáveis e variadas. 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 encaixados entre si de várias maneiras resultando em edificações com uma volumetria mais diversificada do que as propostas tradicionais da maioria dos arquitetos modernos (BLAKE, 1977, p. 125).

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, em que se parte da padronização em massa da revolução industrial para a customização 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 produz 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). Neste trabalho, foi realizado a produção de um modelo paramétrico de uma unidade habitacional de pequeno porte. Este modelo foi utilizado para gerar soluções diversificadas a partir de variações paramétricas.

3. Método

Para a realização desta pesquisa foram adotados os seguintes procedimentos metodológicos:

- a. Definição do programa de necessidades da unidade habitacional unifamiliar.
- b. Os *softwares* e os procedimentos de modelagem.
- c. Análise e discussão de resultados.
- d. Resultados e discussão.
- e. Conclusões e encaminhamentos futuros.

3.1. Definição do Programa de Necessidades da Unidade Habitacional Unifamiliar

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

- a. Quarto 1 – 12m².
- b. Quarto 2 – 9m²
- c. Sala de estar e jantar: 20m²
- d. Cozinha – 10m²
- e. Banheiro social – 2m²
- f. Hall – 1m²

Esse programa foi definido com base na cartilha do programa habitacional do governo federal Minha Casa Minha Vida (MCMV). Trata-se de um programa habitacional desenvolvido pelo governo Federal brasileiro e lançado no ano de 2008 com o objetivo de construir unidades habitacionais de priorizando famílias com renda de até três salários mínimos. Neste trabalho foram considerados apenas os cômodos mínimos para a tipologia I, que corresponde a unidade de menor área. A escolha da tipologia em questão se deu para atender o objetivo da pesquisa de aplicar o projeto paramétrico em uma edificação de pequeno porte. Outro aspecto considerado na escolha dos parâmetros contidos nos manuais do MCMV foi o entendimento de que iniciativas de produção em massa de edificações podem ser otimizadas através da utilização do projeto paramétrico.

A partir desse programa de necessidades, foi definido como aplicar a parametria no projeto de uma residência unifamiliar. Inicialmente os espaços exigidos pelo programa de necessidades foram ordenados de acordo com as atividades realizadas em cada recinto (**Figura 4**). 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 4: Diagrama de distribuição de funções e uso dos espaços.



Fonte: Alves da Silva (2011).

A partir dessa diretriz de agrupamento foi estabelecido dois critérios de agrupamento, o primeiro consiste em:

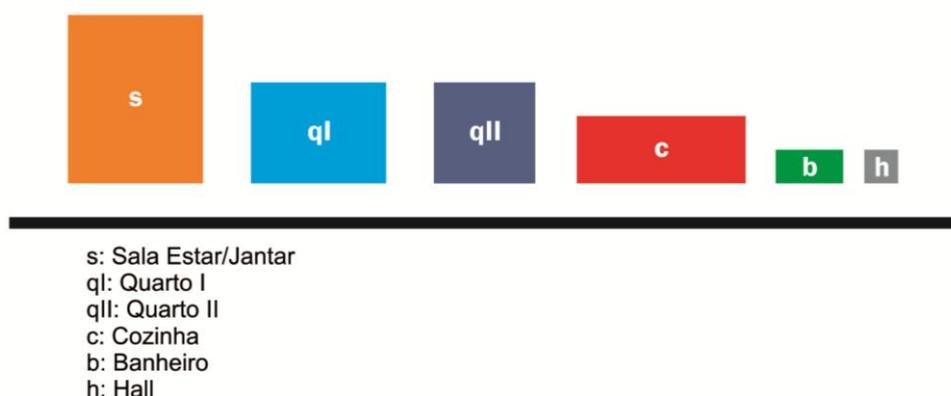
- a. Que os cômodos de mesma função fossem mantidos próximos garantindo que espaços e usos diferentes não se misturassem.

O segundo critério de produção de agrupamento de cômodos teve o objetivo de garantir 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.

Após a definição da lógica de agrupamento dos ambientes criou-se uma legenda de cores para os ambientes para auxiliar na análise e a visualização das soluções produzidas (**Figura 5**).

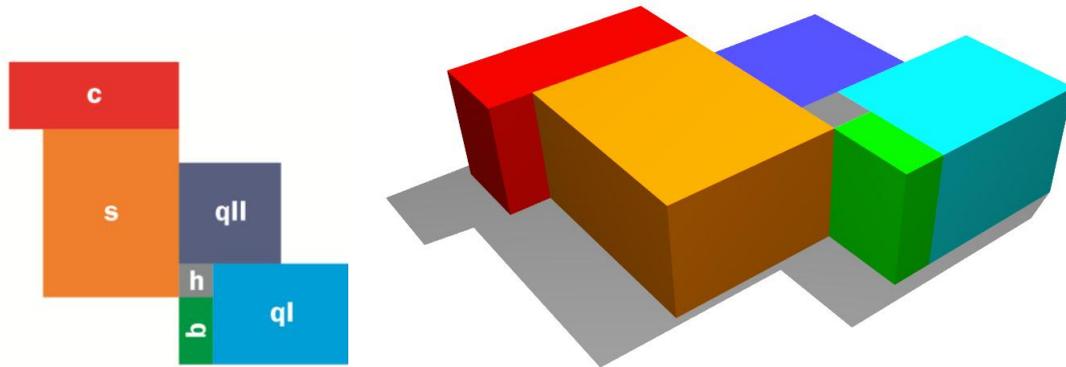
Figura 5: Legenda de ambientes.



Fonte: Alves da Silva (2011).

Com a legenda de cores prontas, os ambientes do programa foram agrupados de acordo com os dois critérios agrupamentos definidos, o que resultou na configuração espacial contida na Figura 6.

Figura 6: Diagrama de agrupamento de ambientes e plano de massas.



Fonte: Alves da Silva (2011).

3.2. Os Softwares e os Procedimentos de Modelagem

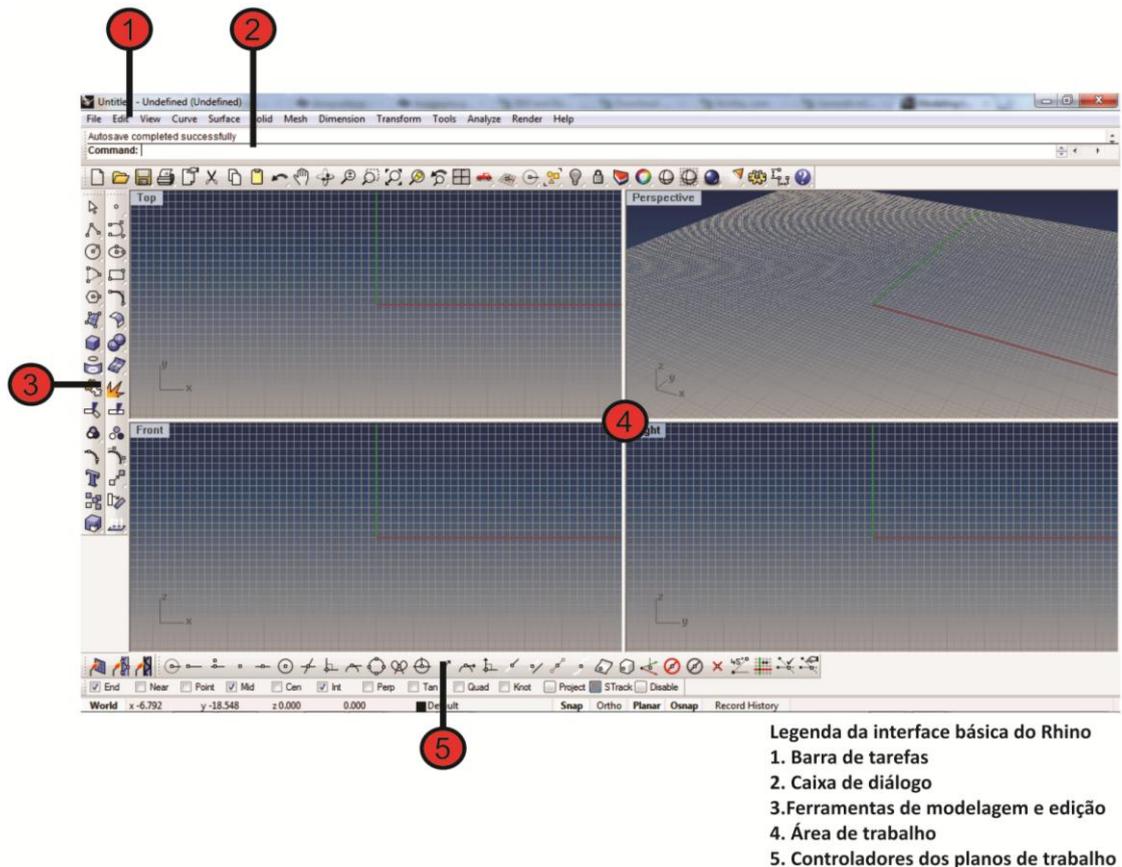
3.2.1 Caracterização do *RhinoRhinoceros* e do *Grasshopper*

A versão utilizada nesta pesquisa foi: *Rhino* 4.0 SR9 que foi desenvolvido a partir de dois softwares o *AccuModel* e o *Sculptura*. O *RhinoRhinoceros* é um modelador de sólido que permite editar, analisar, documentar, renderizar, animar e trabalhar com curvas NURBS¹, 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). As principais vantagens relativas ao uso desse aplicativo são:

- a. Produção de objetos e modelos com grande precisão não importando o tamanho das peças projetadas;
- b. Gera arquivos fáceis de compatibilizar com: outros aplicativos e *softwares* CAD, com equipamentos CAM (*Computer Aided Manufacturing*), 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 à adotada pelo AutoCAD, facilitando o aprendizado para o usuário que já tenha tido um contato prévio com alguma ferramenta CAD (Figura 6).

¹ 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).

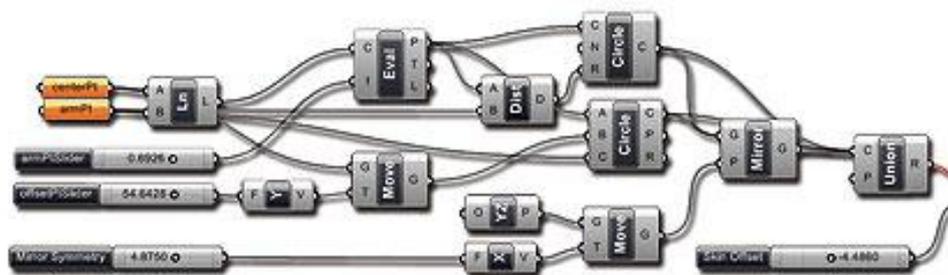
Figura 7: Interface do *RhinoRhinceros*.



Fonte: Alves da Silva (2011).

O *RhinoRhinceros* foi adotado neste trabalho para a visualização dos resultados apresentados após as operações realizadas através de seu *plugin* o *Grasshopper*. Isso ocorreu porque a modelagem foi realizada no *plugin* e não no *Rhino*. O *Grasshopper* é uma linguagem visual de programação desenvolvida por David Rutten na Robert Mcneel & Associates. Foi criado para ser utilizado no *Rhino Rhinceros* como um *plugin*. Neste aplicativo os programas são criados ao se inserir componentes na tela, em que, cada componente possui um *output* e um *input*, que são conectados de forma sucessiva resultando em uma geometria tridimensional ou em uma operação (Figura 7).

Figura 8: Componentes conectados através de seus inputs e outputs.

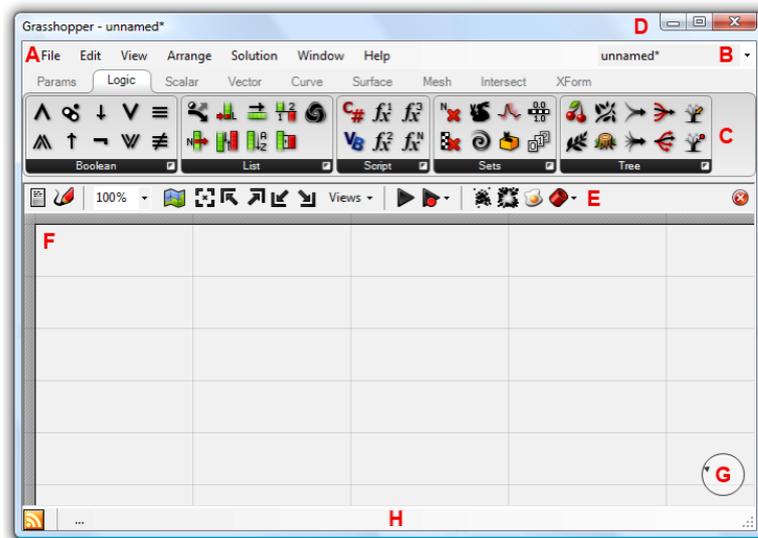


Fonte: http://aecmag.com/index.php?option=com_content&task=view&id=293&Itemid=32

O *Grasshopper* é utilizado na maior parte das vezes para criar algoritmos generativos. E atualmente está incluído no *Rhino 6*. Outro aspecto considerado na escolha *Grasshopper*, face a outras plataformas, foi a existência de um grande número de usuários. Isto possibilita a troca de experiências e a fácil obtenção de informações e tutoriais. Outra 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 no Quadro 1.

Quadro 1: Interface do *Grasshopper*.

Interface do *Grasshopper*.



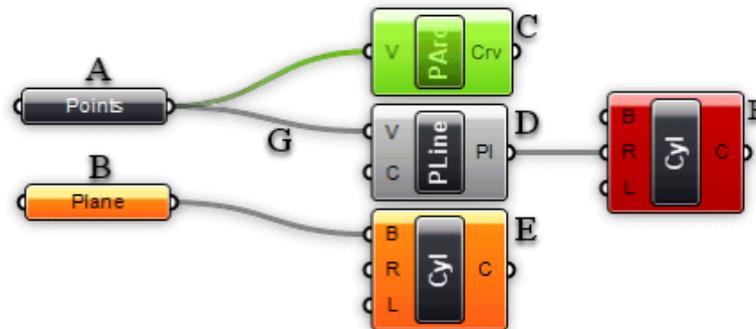
Fonte: Payne e Issa (2009)

- 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.

O *Grasshopper* apresenta dois tipos básicos de objeto que permitem a modelagem e a manipulação dos elementos, são eles: 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 (servem para executar ações) (PAYNE e ISSA, 2009, p. 8). O Quadro 2, contém alguns dos tipos de objetos encontrados no *Grasshopper* e as notações de cores que são utilizadas para alertar sobre a coerência dos dados contidos nos objetos.

Quadro 2: Descrição dos componentes e elementos no *Grasshopper*.

Componentes e parâmetros do *Grasshopper*.



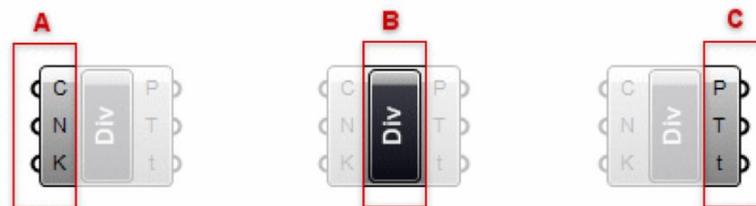
Fonte: Payne e Issa (2009), adaptado pelo autor.

- 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

Um componente geralmente requer uma inserção de uma 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 (**Quadro 3**)(PAYNE e ISSA, 2009, p. 12).

Quadro 3: Estrutura dos componentes no *Grasshopper*

Estrutura de componentes.



Fonte: Payne e Issa (2009).

- A – Os três parâmetros são de input referentes ao componente Division., os Os parâmetros possuem nomes curtos que podem ser renomeados de acordo com a necessidade do usuário.
- B – Área central do componente (geralmente contêm o nome do componente).
- C – Os três parâmetros output correspondentes ao parâmetro Division.

3.2.2. A Modelagem Paramétrica

A parametrização no processo de projeção da residência unifamiliar foi aplicada para se conseguir variações da distribuição inicial dos ambientes (Figura 6). Os novos elementos foram originados a partir da variação dos parâmetros que definem o conjunto a solução de agrupamento inicial. A utilização da arquitetura paramétrica possibilitou um maior controle sobre o modelo. Dessa forma foi possível, a partir da alteração dos parâmetros, manipular 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 a posição de cada cômodo no universo com coordenadas em X, Y e Z.



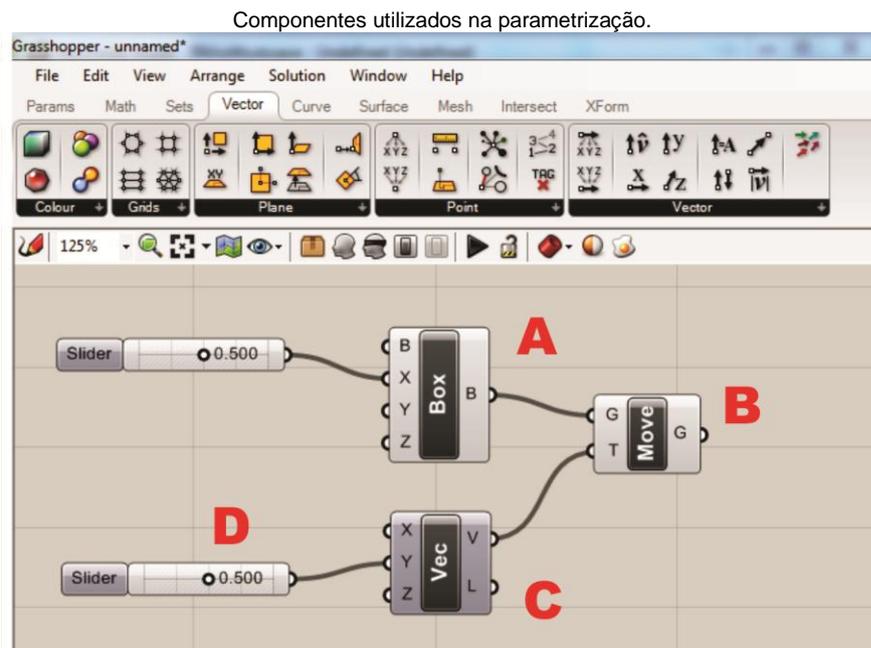
Para a produção do modelo paramétrico foram considerados, para os cômodos, as dimensões contidas na Tabela 1.

Tabela 1: Dimensões dos cômodos utilizadas no processo de parametrização

CÔMODO	DIM(m)	ÁREA(m ²)
SALA DE ESTAR/JANTAR	5x4	20
QUARTO I	4x3	12
COZINHA	5x2	10
QUARTO II	3x3	9
BANHEIRO	2x1	2
HALL	1x1	1
Pé direito		3m

Fonte: Alves da Silva (2019).

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. Para realizar a parametrização dos cômodos, foram utilizados três tipos de componentes, sendo eles: *Box2P*, o *VectorXYZ* e o *Move*. Na Quadro 4 está demonstrado o funcionamento desses componentes e como eles foram utilizados para gerar os cômodos.

Quadro 4: Componentes utilizados no processo de produção do modelo paramétrico.

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.

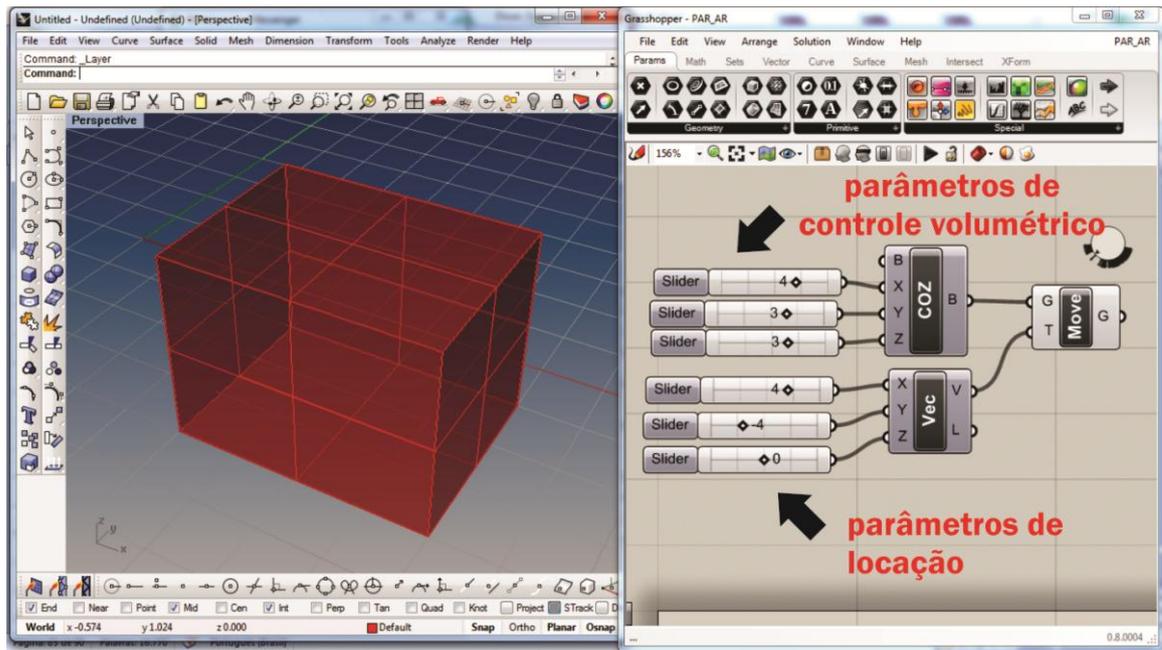
B – *Move*: é acessado na aba *Xform* (*XForm*> *Euclidean*> *Move*). Esse componente possui duas entradas G e T, onde G recebe informações referentes a geometria a ser movida e em T definimos o sentido da translação em relação a origem do sistema cartesiano. O componente *Move* possui uma saída G que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

C – *VectorXYZ*: é acessado na aba *Vector* (*Vector*> *Vector*> *VectorXYZ*). 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 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.

No sentido de fornecer as informações referentes às dimensões e a posição dos elementos no espaço cartesiano, foram adotados 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*, A Figura 9 contém o cômodo cozinha parametrizada e os parâmetros utilizados.

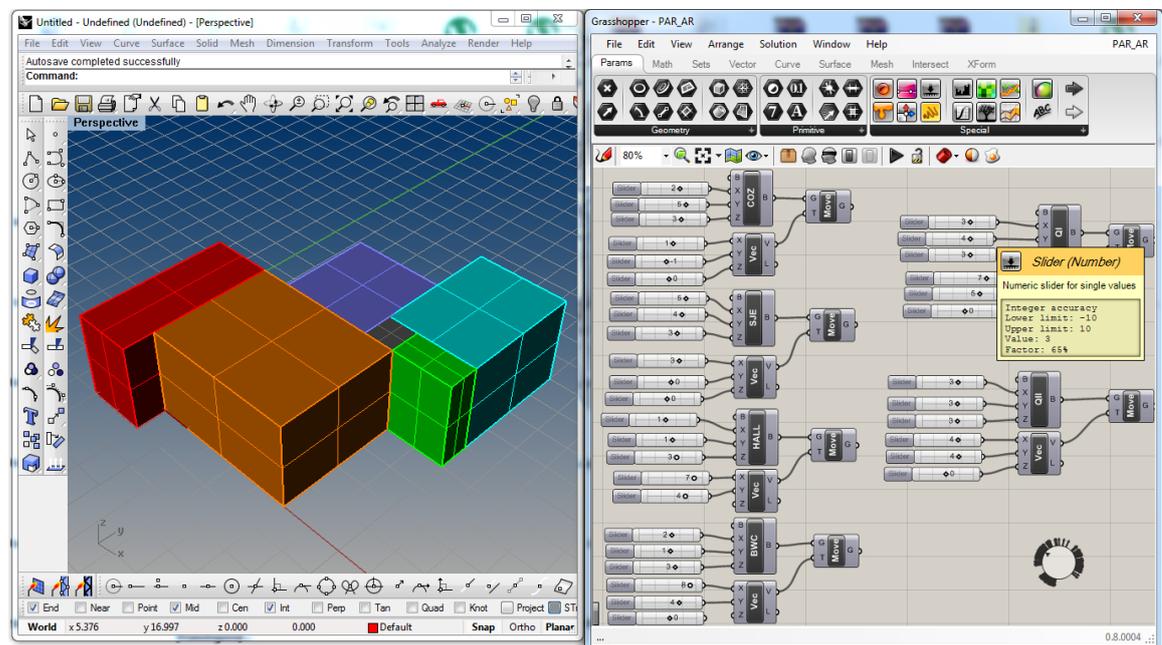
Figura 9: Cozinha parametrizada no *Rhino* e *Grasshopper*.



Fonte: Alves da Silva (2011).

Este procedimento foi executado para todos os cômodos que compõe a solução inicial, ver **Figura 10**.

Figura 10: Modelo paramétrico do agrupamento inicial de cômodos.



Fonte: Alves da Silva (2011).

É importante pontuar que o modelo produzido possui o caráter de diagrama, ou zoneamento de massas, e que não apresenta ainda soluções projetuais definitivas. Isto para que possa ser demonstrado que esta estratégia projetual pode ser aplicada em fases iniciais de estudo de soluções de projetos. Com o modelo paramétrico pronto foram realizadas as variações paramétricas.

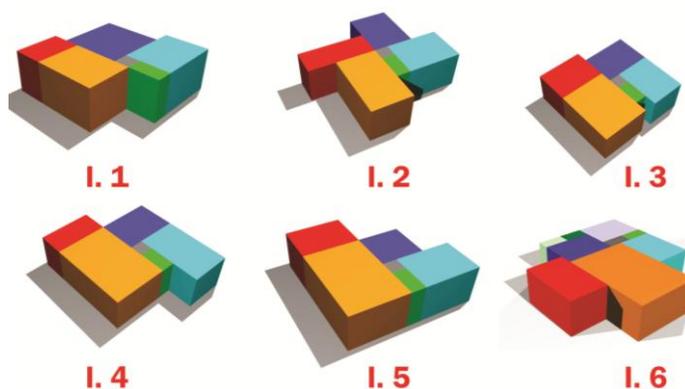
4. Análise e Discussão dos Resultados

Para demonstrar o potencial de uso do modelo paramétrico na produção de soluções diversas, foram realizadas variações paramétricas com o objetivo de alcançar os seguintes tipos de resultados:

- a. Obter resultados com áreas diferentes da área inicial de 54m², por meio da modificação dos tamanhos dos espaços e depois com a inserção de novos cômodos;
- b. Realizar estudos volumétricos a partir do reposicionamento de alguns cômodos, da variação da altura inicial dos módulos e da modificação das dimensões iniciais.

Com a utilização da variação paramétrica foram produzidas quinze novas variações a partir do modelo inicial. As soluções geradas foram agrupadas em dois grupos: o primeiro corresponde a soluções em que o tamanho da unidade habitacional foi modificado, mas permaneceu com todos os seus cômodos no mesmo nível, como demonstrado na **Figura 11**.

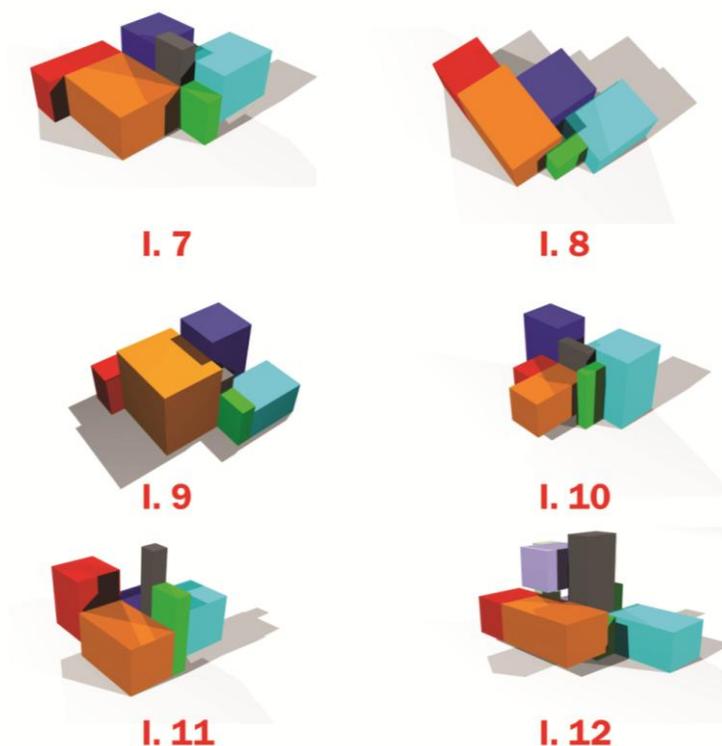
Figura 11: Instâncias (soluções) obtidas do grupo 1.



Fonte: Alves da Silva (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 mesmo nível. Esses resultados são demonstrados a seguir na **Figura 12**.

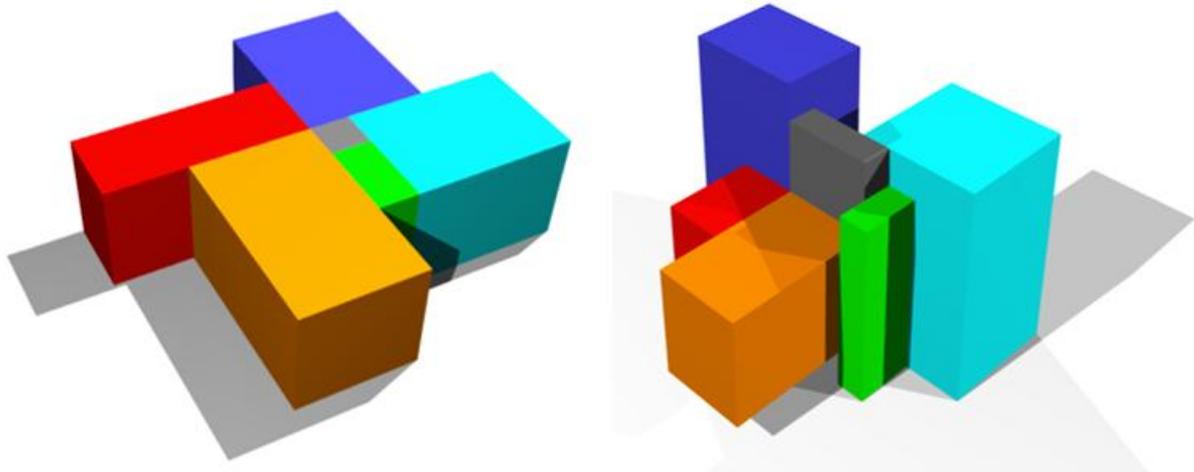
Figura 12: Instâncias geradas a partir da variação das alturas dos cômodos e do deslocamento em relação ao nível do chão.



Fonte: Alves da Silva (2011).

Os resultados obtidos nos dois grupos de solução ilustram a capacidade de se conseguir variabilidade de soluções formais. A partir da manipulação dos parâmetros é possível conseguir uma grande quantidade de resultados. Dessa forma tanto o arquiteto quanto o cliente têm acesso a uma ferramenta de projeto que possibilita a verificação rápida de opções, que pode atender a situações específicas possibilitando a customização de resultados.

Outro aspecto que pode ser observado na **Figura 13** é que as modificações no modelo paramétrico e os seus respectivos resultados mantiveram as mesmas relações espaciais determinadas no agrupamento inicial. As instâncias I.2 e I.10 (**Figura 13**), por exemplo, apesar de representarem soluções formais diferentes entre si, seguem a mesma estrutura básica de distribuição espacial definida no programa de necessidades e pelo diagrama de distribuição de usos e funções ilustrado na **Figura 4**.

Figura 13: Instâncias 2 e 10.

Fonte: Alves da Silva (2011).

A parametrização e o controle das variáveis do sistema permitem que o projeto seja adaptado rapidamente às necessidades que não foram previstas inicialmente no programa de necessidades. Como 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. Este processo é possível pela inserção de novos elementos paramétricos ou pela manipulação dos parâmetros projetuais do modelo. A flexibilidade proporcionada por uma estratégia paramétrica de projeto, pode viabilizar a produção de soluções customizadas.

A análise das soluções produzidas permite afirmar que o emprego desse processo facilitou o estudo de volumes e formas. Dessa forma, por meio da variação paramétrica dos objetos o arquiteto consegue desenvolver rapidamente, no caso do modelo proposto, um conjunto de soluções volumétricas. Estas soluções são dotadas de informação em escala, o que permite ao profissional verificar durante o processo de estudo preliminar de projeto a viabilidade de execução das formas desenvolvidas.

5. Conclusões e Encaminhamentos Futuros

O processo de projeto utilizado neste trabalho permite identificar duas contribuições às rotinas de desenvolvimento de projeto, a citar:

- a. O controle sobre o objeto projetado, uma vez que a modelagem paramétrica permite que o arquiteto possua total controle sobre o projeto desenvolvido, por meio da manipulação dos parâmetros de projeto. A inserção de novas regras ou novos elementos ao modelo paramétrico permite direcionar os resultados produzidos a expectativas projetuais de desempenho. Ao considerar a abordagem paramétrica, 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 controlar as suas dimensões.
- b. A segunda contribuição, e mais relevante, é a possibilidade de obtenção de 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, e dessa forma, viabilizar a customização em massa de habitações unifamiliares de pequeno porte.



6.Referências

- 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.
- BLAKE, P. **Form Follows Fiasco**: Why modern architecture hasn't worked. 1ª Edição. ed. [S.l.]: The atlantic monthly press, 1977.
- BORDEN, G. P. **Process Material and Representation in architecture**. New York: Routledge, 2014. Versão Kindle.
- CHING, F. D. K. **Arquitetura, forma espaço e ordem**. Tradução de Júlio Fischer. 1ª. ed. São Paulo: Martins fontes, 1998.
- 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.
- MCNEEL, R. The History of *Rhino*. **Rhino: Rhinohistory**, 2011. Disponível em: <<http://wiki.mcneel.com/Rhino/Rhinohistory>>. Acesso em: 21 Fevereiro 2011.
- MITCHELL, W. J. **From SKETCHPAD to city of bits**: A Story of Shifting Intentions. CAADRIA 2006 [Proceedings of the 11th International Conference on Computer Aided Architectural Design Research in Asia]. Kumamoto (Japan): CAADRIA. 2006. p. 1-5.
- 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.
- ROCHA, I. A. M. **Programa e projeto na era digital: O ensino de projeto de arquitetura em ambientes virtuais interativos**. 2009.358f.Tese(Doutorado em Arquitetura) - Programa de pós graduação em Arquitetura, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 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.
- STEINØ, N.; VEIRUM, N. E. **A parametric approach to urban design**. Digital Design: The Quest for New Paradigms [23nd eCAADe Conference Proceedings]. Lisbon (Portugal): eCAADe. 2005. p. 679-686.
- SZALAPAJ, P. **Contemporary Architecture and the Digital Design Process**. 1ª. ed. New York: Routledge, 2005.
- TERZIDIS, K. **Pemutation Design**: Buildings, texts, and contexts. 1ª. ed. New York, USA: Routledge, 2015.