



ALGORITMO PARTICIPATIVO E FABRICAÇÃO DIGITAL: FERRAMENTA DIGITAL PARA ADEQUAÇÃO ARQUITETÔNICA

BACKHEUSER, Luiz Alberto Fresl

Universidade de São Paulo, backheuser@gmail.com

FONSECA DE CAMPOS, Paulo Eduardo

Universidade de São Paulo, pfonseca@usp.br

RESUMO

Se o movimento moderno defendeu uma produção impositiva, onde o arquiteto poderia definir de maneira autocrática o desenho das cidades e seus edifícios, a partir de meados do século XX essas práticas passam a ser duramente criticadas. Alternativas participativas de gestão das cidades passam a ser valorizadas de forma crescente, como respostas a um mundo cada vez mais complexo, plural e diversificado. A inadequação arquitetônica dos grandes conjuntos residenciais modernistas frente às necessidades de seus habitantes aparece com frequência em debates profissionais, acadêmicos e nas comunidades em questão. Assim, o processo ganha relevância e passa a ser debatido, independentemente do produto. Se, por um lado, há que se considerar um número maior de variáveis, a maneira como se busca atingir o resultado ganha tanta importância quanto o resultado em si, que passa a ser imprevisível. Na mesma época, autores como William Mitchel, Nicholas Negroponte, Yona Friedman e Christopher Alexander, defendem a união de processos participativos e ferramentas computacionais. Essa União, que vem sendo debatida até hoje com autores como José Pinto Duarte e Branko Kolarevic, traz consigo o conceito de customização em massa para a arquitetura e o urbanismo. Desta forma, o presente trabalho pretende refletir sobre processos participativos potencializados por meio de ferramentas digitais, a partir de um experimento: um algoritmo associado a um sistema construtivo, que permite a personalização de uma arquitetura. O experimento se apropriará de outra pesquisa paralela que desde de 2015 vem procurando adaptar diferentes experiências internacionais de soluções construtivas baseadas em um método subtrativo de fabricação digital. Espera-se, assim, contribuir com as discussões tanto sobre a participação dos usuários como sobre a apropriação de novas tecnologias.

Palavras-chave: Arquitetura algorítmica, processos participativos, fabricação digital

ABSTRACT

If the modern movement defended a vertical relation, where the architect could autocratically define the design of cities and their buildings, from the middle of the twentieth century these practices will be harshly criticized. Participatory approaches to city management are increasingly valued as responses to an increasingly complex, pluralistic and diverse world. The architectural inadequacy of the large modernist residential complexes in the face of the needs of its inhabitants often appears in professional, academic and community debates. Thus, the process gains relevance and begins to be debated, independently of the product. If, on the one hand, one has to consider a greater number of variables, the way in which one seeks to achieve the result gains as much importance as the result itself, which becomes unforeseeable. At the same time, authors like William Mitchel, Nicholas Negroponte, Yona Friedman and Christopher Alexander, defend the union of participatory processes and computational tools. This Union, which has been debated until now with authors such as José Pinto Duarte and Branko Kolarevic, brings with it the concept of mass customization for architecture and urbanism. In this way, the present work intends to reflect on participatory processes enhanced by digital tools, from an experiment: an algorithm associated to a constructive system that allows the customization of an architecture. The experiment will take advantage of another parallel research that since 2015 has

sought to adapt different international experiences of constructive solutions based on a subtractive method of digital manufacturing. It is hoped, therefore, to contribute to the discussions both on the participation of users and on the appropriation of new technologies.

Keywords: *Algorithmic architecture, design participation, digital fabrication*

1 PREÂMBULO

Embora a participação de usuários nas definições arquitetônicas e urbanísticas remonte ao século XIX, essa opção ganha importância a partir de meados do século XX, principalmente como reação ao planejamento tecnocrático e autoritário do pós-guerra europeu (WULZ, 1986). Justamente nessa época surgem autores que se debruçam sobre o tema, como John Turner, que afirmava:

Quando os moradores controlam as grandes decisões e são livres para fazer suas contribuições próprias no projeto, construção ou gestão de suas moradias, tanto o processo quanto o ambiente produzido estimulam o bem-estar social. Quando as pessoas não têm controle nem responsabilidade nas decisões-chave da produção da habitação, tais ambientes podem se tornar uma barreira para a realização pessoal e um fardo para a economia (Turner & Fitcher apud Noia, 2017, p.29).

Curiosamente, nesta mesma época, surgem alguns dos principais pensadores que discutem o impacto das ferramentas digitais nos processos de produção de arquitetura e urbanismo. William Mitchell, Nicholas Negroponte, Yona Friedman e Christopher Alexander, lançam seus primeiros textos entre os anos 1960 e 1970, com uma semelhança imediata com os autores dedicados aos processos participativos, à valorização do processo independente do produto.

Não por acaso, muitos desses autores promovem a união entre processos participativos e ferramentas digitais. Entre eles, William Mitchell defende que a lógica if/then pode dar respostas e criar cenários com a rapidez necessária para trabalhos com comunidades, além de apresentar resultados de maneira compreensível a não especialistas. Ou seja, pode-se ter respostas óbvias, como, por exemplo, a predominância de uma faixa etária pode definir a demanda por equipamentos públicos (mais crianças = mais escolas). Mas pode-se obter respostas cujos caminhos a serem seguidos não são tão claros. Por exemplo, em situações onde há conflitos. Se devemos acomodar duas comunidades distintas num mesmo território, com costumes e religiões diferentes, o computador pode ajudar a criar os cenários, facilitando negociações entre os envolvidos. (MITCHELL, 1971).

Em 1975, Yona Friedman publica uma proposta para uma ferramenta computacional que auxiliaria a relação entre o arquiteto e o usuário, permitindo que o futuro habitante possa participar do processo de concepção da sua casa. Friedman o batizou de Flatwriter: "uma máquina que permite que cada futuro habitante de uma cidade possa imprimir suas preferências pessoais na sua futura habitação" (FRIEDMAN, 1975, p.59).

Com a premissa de que os arquitetos trabalham não mais com clientes individuais, mas com milhões de clientes simultâneos, cujas demandas devem ser atendidas, e a partir da analogia de um menu de restaurante, onde o cliente escolhe os pratos e suas combinações, o Flatwriter ofereceria milhões de opções de possíveis plantas de habitação, que poderiam ser combinadas, personalizando a solução final. A combinação customizada ficaria acomodada em um esqueleto estrutural que abrigaria as infraestruturas necessárias (FRIEDMAN, 1975).

Ao longo das décadas seguintes, outros autores se somaram à discussão, bem como outras iniciativas, a exemplo da aliança denominada *Computer Professionals For Social Responsibility* (CPSR), que não apenas se engajaram em diversas experiências participativas, como também passaram a patrocinar uma conferência bienal sobre o tema¹.

No final da década de 1990, surge outro trabalho fundamental para a discussão. Trata-se da tese de doutorado do pesquisador português José Pinto Duarte, desenvolvida no *Massachusetts Institute of Technology* (MIT) e orientada por William Mitchell. Duarte se apropria da Gramática da Forma, inicialmente de maneira analítica, para estudar o projeto do arquiteto Álvaro Siza Vieira para a chamada Quinta da Malagueira². Um algoritmo fazia as combinações possíveis das habitações a partir de regras de implantação de cada unidade. O autor define o processo como uma gramática discursiva, e não gramática da forma, uma vez que gera não apenas formas, mas uma descrição simbólica, num nível semântico (NATIVIDADE, 2010).

2 DADOS

A Revolução das tecnologias da Informação e Comunicação (TICs), e os processos *Computer Aided Design* (CAD) e *Computer Aided Manufacturing* (CAM), acabaram com a necessidade de se associar produção em massa com repetição em massa (KOLAREVIC, 2004). Uma inovação tecnológica, que permite interação com consumidores aumentando sua adaptabilidade, e soluções flexíveis de fabricação a partir de equipamentos de comando numérico computadorizado (CNC). Nesse novo sistema, o processo é mais importante do que o produto: "Novos produtos individuais fluem desses processos flexíveis, capazes de dar respostas rápidas, mas a longo prazo e estáveis" (PINE, 1994, p.53).

Nesse contexto, surge a Customização em Massa³, termo cunhado na década de 1980 que se referia à capacidade de oferecer produtos customizados produzidos em larga escala com custos similares ao de produtos padronizados (PINE, 1994). Não se trata da disponibilização de produtos variados, mas da participação do usuário na definição ou especificação das características desses produtos. Ou seja, não são ofertados apenas produtos, mas a capacidade de transformá-los, ou defini-los, a partir de possibilidades previamente disponibilizadas. Isso quer dizer que o fornecedor deve definir quais atributos ou características do produto podem ser customizadas, obrigando a uma abordagem voltada para o cliente e não voltada para o mercado, como geralmente ocorre (MACHADO & MORAES, 2010).

No entanto, na grande maioria dos casos, a customização em massa de produtos industrializados oferece mudanças superficiais, como cores, a substituição de um adereço por outro ou a adição de acessórios supérfluos. Considerando a relevância do objeto a ser customizado, a arquitetura, ainda

¹Disponível em <http://cpsr.org/> - acesso em 22/06/2018

²A Quinta da Malagueira foi desenvolvida por Álvaro Siza Vieira e seus colaboradores, a partir dos anos 1970, no âmbito do programa do Serviço Ambulatório de Apoio Local (SAAL), em parceria com as cooperativas de moradores que foram responsáveis pela promoção da urbanização. Trata-se de uma expansão na cidade de Évora que abriga 1200 habitações.

³Termo criado por Stan Davis em sua publicação de 1987. É comum encontrar termos como co-criação, Customização em Massa, crowdsourcing, personalização em massa, etc, na bibliografia pertinente. No entanto, neste trabalho chamar-se-á de Customização em Massa qualquer alternativa de interferência do usuário na definição de um bem para produção em larga escala.

mais na condição de habitação social, defende-se que a customização almejada tenha um impacto mais profundo, estrutural, na geração de resultados variados.

3 PRODUTIVISMO VS. CUSTOMIZAÇÃO EM MASSA

Quando Henry Ford disse que as pessoas poderiam ter o carro (Ford T) na cor que quisessem desde que fosse preto⁴. A Produção em Massa, ou Fordismo, era um herdeiro direto do sistema anterior, perpetuando alguma de suas características, como o uso de máquinas especializadas, a divisão do trabalho e produtos cujas peças poderiam ser intercambiáveis. No entanto, trouxe novidades que buscavam atender às demandas de um mercado cada vez maior e mais disperso num território enorme (PINE, 1994).

Talvez, a grande revolução introduzida pela Produção em Massa tenha sido o ritmo na produção, uma noção de fluxo contínuo, que adaptava os trabalhadores a uma uniformidade produtiva, acelerando os trabalhadores lentos e desacelerando os rápidos (PINE, 1994), otimizando, assim, a eficiência operacional da chamada linha de produção.

A Produção em Massa só pode surgir num mercado muito homogêneo, como o americano da primeira metade do século XX. Homogeneidade essa, muito defendida e estimulada por quem dela se beneficiava, uma vez que esse sistema introduz a chamada "economia em escala: quanto maior a empresa e maior sua produção, mais baixos são seus custos" (PINE, 1994).

Assim, a premissa da "Produção em Massa é fabricar produtos padronizados para mercados homogêneos" (PINE, 1994, p.19), cujos custos eram minimizados na grande escala de produção, atendendo a novas necessidades de uma cultura emergente, sem as tradições arraigadas de outras culturas.

Na segunda metade do século XX, o paradigma da produção em massa entra em choque com as mudanças sociais que estão tornando as sociedades menos homogêneas, onde as diversidades são progressivamente mais valorizadas e exploradas pela indústria de bens e serviços (PINE, 1994).

Não apenas se oferta uma maior variedade de opções, mas sua efetiva adaptação a demandas específicas. De seguros a sanduíches, de calçados a automóveis, a personalização é uma prática recorrente que caracteriza os mercados contemporâneos, instaurando um novo paradigma (PINE, 1994).

Se o Ford T tinha de ser preto, hoje pode-se escolher uma série de características de um automóvel, como a cor do exterior, a potência do motor, opcionais eletrônicos, faróis extras, etc. Tudo isso viabilizado através das tecnologias da informação e comunicação (TICs), nomeadamente a internet e sua interface acessível.

No entanto, percebe-se que a personalização se dá através de uma série de opções previamente estabelecidas, um cardápio que permite trocar componentes e adicionar outros, preservando características da Produção em Massa, como o princípio das peças intercambiáveis, que agora não são mais necessariamente iguais, mas pode-se escolher entre uma série de opções que cumprem o mesmo papel ou acrescentam novas funções não essenciais ao funcionamento do conjunto.

⁴"Any color so long as it is black". Ford, H., & Crowther, S. (1924). My Life and Work. in Collaboration with Samuel Crowther.

Em um edifício, características como cores e outros acabamentos são facilmente personalizáveis, assim como a adição de elementos decorativos ou substituição de componentes por outros. No entanto, a arquitetura parece oferecer mais potencialidades para personalização do que outros bens, uma vez que embora tenha componentes industrializados, ainda é, na enorme maioria dos casos, construída ou montada de maneira individualizada. Ou seja, não depende de uma linha de produção, permitindo, assim, que modificações mais expressivas sejam mais facilmente praticadas.

4 PERSONALIZAÇÃO DA ARQUITETURA

Deve-se lembrar que aqui está se tratando da etapa de projeto, anterior à execução da obra. Considerando que um imóvel pode ter uma durabilidade maior que outros bens, cabe ponderar que o projeto vai responder às necessidades de uma família em um momento específico e que muitas demandas se modificarão ao longo do tempo. Assim, a personalização em fase de projeto é um congelamento das demandas em determinado momento, mas que deve considerar alterações futuras.

A coleta dessas informações e sua transformação em arquitetura depende de definições metodológicas quanto à participatividade dos futuros beneficiários. Entre as definições que devem ser estabelecidas, encontra-se o grau de participação, que pode se iniciar com uma postura absolutamente passiva do beneficiário, onde o arquiteto representa seus interesses, até a autogestão, onde beneficiários tomam as decisões e o papel do arquiteto é garantir que elas sejam cumpridas (WULZ, 1986).

Entre os níveis de envolvimento definidos por Wulz (1986), a chamada "Alternativa"⁵ se aproxima da Customização em Massa que vem sendo apropriada pela indústria de bens e serviços. Ou seja, uma série de opções são oferecidas pelos arquitetos aos beneficiários, que farão suas escolhas.

A escolha por alternativas parece a mais eficiente quando o que se espera é que um grande número de pessoas possa personalizar individualmente suas unidades de habitação. Parece ainda mais coerente com o envolvimento de ferramentas digitais, que poderiam combinar diferentes opções instantaneamente, criando cenários imediatos. Quanto mais opções houverem, mais justificado será o uso do algoritmo computacional. No entanto, deve-se pensar como essas opções serão definidas, ou seja, na qualidade dos dados de entrada do modelo.

Esta pesquisa não responde à uma demanda real. Portanto, não é possível criar uma arquitetura que responda a questões quantitativas e qualitativas reais. Assim, parte-se de um sistema construtivo como mote para a orientação da personalização.

5 MACKHAUS

O presente trabalho trata de um algoritmo que adapta dimensões de um edifício às demandas específicas de cada família, a partir de opções previamente concebidas. Uma vez que o estudo de caso a seguir apresentado se trata de uma prova de conceito e não de uma aplicação a uma situação real, as definições em referência estabelecidas são exploratórias, definidas a partir de critérios hipotéticos.

⁵Tradução do autor para "Alternative" (WULZ, 1986).

Como ponto de partida, toma-se uma solução construtiva que vem sendo estudada em outra pesquisa, em paralelo, que explora a aplicação de uma tecnologia de fabricação digital subtrativa à produção de arquitetura, a partir de um material específico, chapas de OSB (Oriented Strand Board), e uma tecnologia de usinagem disponível aos pesquisadores, uma fresadora CNC. Chamamos esse experimento de MackHaus.



Figura 1 – experimentos em fabricação digital subtrativa

Fonte: Autor (2019)

No entanto, ressalta-se aqui, uma vez mais, que o tema deste artigo é o algoritmo, não essa pesquisa projetual e construtiva. Assim, ela não será aprofundada, mas apenas mencionada, como base orientativa para a construção da solução computacional.

6 EXPERIMENTO

A primeira experiência concebida foi um algoritmo criado em linguagem *Python*, simulando uma ferramenta de diálogo com futuros usuários. Neste script, são colocadas questões conforme a resposta, as quais levam a outras perguntas, culminando numa metragem quadrada e estimativa de custo de uma casa. Esse primeiro estudo foi desenvolvido tomando como ponto de partida uma residência de 2 dormitórios e 54m², e considerando que as ampliações estarão vinculadas à relação mobiliário/número de moradores. Como se trata de uma prova de conceito, todas as definições foram estabelecidas de maneira hipotética e arbitrária.

```

Python 3.7.2 Shell
File Edit Shell Debug Options Window Help
Python 3.7.2 (tags/v3.7.2:9a3ffc0492, Dec 23 2018, 22:20:52) [MSC v.1916 32 bit
(Intel)] on win32
Type "help", "copyright", "credits" or "license()" for more information.
>>>
===== RESTART: C:\Users\BACKHEUSER\Desktop\isometricas 2\script2.py =====
quantas pessoas irão morar na casa (máximo: 8 pessoas): 8
quantos quartos você quer? (mínimo 2e máximo 3): 3
pessoas no primeiro quarto (até 4 pessoas): 2
pessoas no segundo quarto (até 4 pessoas): 4
o número de pessoas no terceiro quarto será 2.00
Você quer um banheiro maior (1) ou dois banheiros (2): 2
Área total da casa será de 94.00 m2
O custo estimado da casa será de R$160960.00
>>> |
  
```

Figura 2 – ferramenta de diálogo criada em linguagem *Python*

Fonte: Autor (2019)

Até quatro moradores, o algoritmo gera uma unidade básica com as definições de área e número de dormitórios definidos acima. De cinco a oito

moradores, pode-se escolher um terceiro dormitório, a quantidade de pessoas por dormitório, um banheiro maior ou dois banheiros. As dimensões da sala e cozinha são modificadas automaticamente a fim de que possam abrigar o mobiliário que atenda ao número de moradores. Um assento no sofá e um lugar à mesa por pessoa.

Em seguida, esse código em linguagem *Python* foi inserido no *Grasshopper*, um *plugin* de *Visual Programming Language* (VPL) que funciona dentro do software *Rhinoceros*. Lá as informações quantitativas informadas do primeiro experimento são transformadas em geometrias.

Considerando-se que script altera a geometria da sala e da cozinha automaticamente, permitindo que o usuário escolha entre duas opções de banheiros, a adição de um terceiro dormitório e a quantidades de pessoas por dormitório, de uma a quatro, tem-se um total de 97 combinações possíveis.

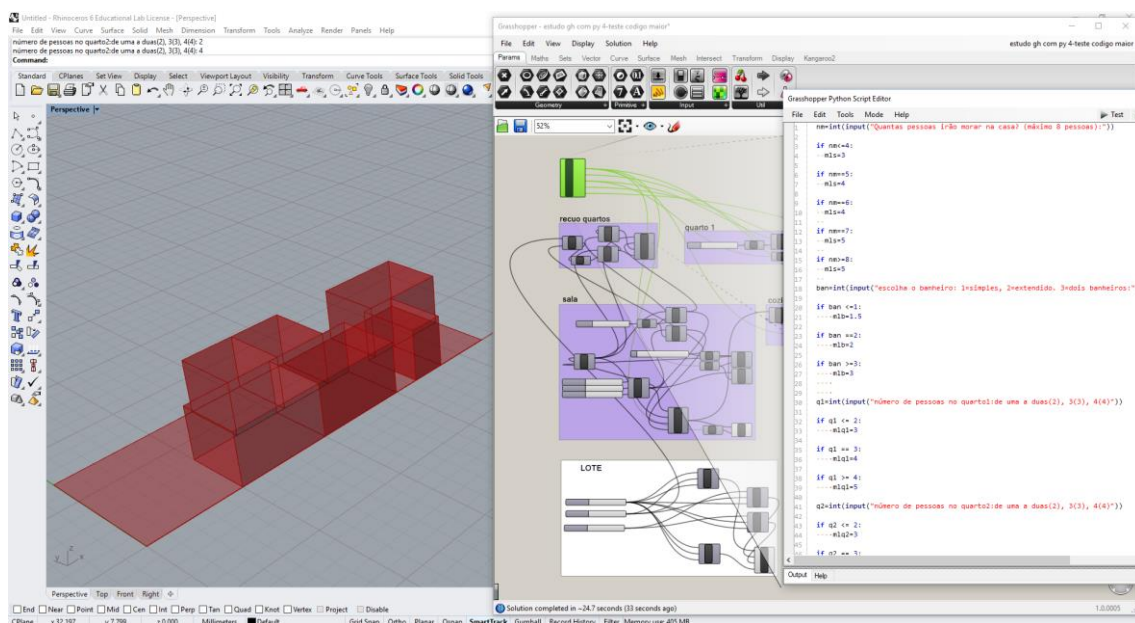


Figura 3 – transformação do código Python em geometria com auxílio Grasshopper

Fonte: Autor (2019)

No entanto, os resultados ainda se mostraram essencialmente diagramáticos, com um conjunto de cubos associados a um uso doméstico, quarto, sala, cozinha, banheiro. Esperava-se que o experimento gerasse desenhos arquitetônicos mais completos e compreensíveis. Embora entenda-se que toda representação arquitetônica seja abstrata e dependa de convenções para serem interpretadas, os autores acreditavam que desenhos mais completos que representassem definições construtivas eram necessários, não apenas para a compreensão de quem os leria, mas para geração de informações mais precisas, como áreas, quantificação de componentes e estimativas de custos.

Assim, desenvolveu-se um terceiro experimento, objeto de estudo principal deste artigo, que gera plantas mais precisas, modelos tridimensionais e a área construída total, a partir de uma interface editável, gerando um grande número de variações arquitetônicas a partir de um modelo inicial.

Para esse experimento, algumas premissas iniciais foram modificadas. A primeira foi associar o algoritmo à solução construtiva mencionada no capítulo

anterior. Além disso, todos os ambientes têm uma dimensão mínima, mas suas variações não são mais definidas automaticamente em função do número de moradores. Optou-se também por criar uma maior oferta de possibilidades de personalização.

A solução construtiva baseada em pórticos executados a partir de chapas de OSB usinadas em uma fresadora CNC, leva à definição do dimensionamento. Tem-se 1, 10 metros entre pórticos, que vencem um vão de aproximadamente 4 metros. Toda o dimensionamento da casa se dá a partir desse módulo, que também condiciona seu crescimento.

O algoritmo se baseia em três ações. A substituição de um ambiente por sua variação, por exemplo, temos duas opções de sala, três opções de cozinha e duas opções de banheiro; por meio da adição ou remoção de um ambiente, por exemplo, podemos adicionar ou não um segundo e um terceiro dormitório; e por fim, a ampliação de cada ambiente em até dois módulos construtivos. Assim, com exceção do banheiro, todos os demais ambientes têm três tamanhos possíveis.

Assim, temos as seguintes opções para os ambientes.

Quadro 1 – Combinações possíveis de ambientes, suas variações e seus tamanhos

SALA	COZINHA	BANHEIRO	QUARTO 1	QUARTO 2	QUARTO 3	
sala menor - 1	cz aberta - 1	bn 1	q1 - 1	q2 - 0	q3 - 0	
sala menor - 2	cz aberta - 2	bn 2	q1 - 2	q2 - 1	q3 - 1	
sala menor - 3	cz aberta - 3	2	q1 - 3	q2 - 2	q3 - 2	
sala maior - 1	cz fechada - 1		3	q2 - 3	q3 - 3	
sala maior - 2	cz fechada - 2			4	4	
sala maior - 3	cz fechada - 3					
6	cz americana - 1					
	cz americana - 2					
	cz americana - 3					
	9					
Número de combinações possíveis: 5184						

Fonte: Autor (2019)

As geometrias foram desenhadas em *Autocad* e importadas no *Rhinoceros* para edição no *Grasshopper*. O código de transformação no *Grasshopper* se organiza em cinco blocos de algoritmos. O primeiro gerencia a arquitetura dos ambientes. Ou seja, paredes, portas, janelas, ampliação, substituições e adição de cômodos. O segundo bloco organiza as projeções dos beirais. Ou seja, quais linhas deverão aparecer e quais deverão sumir à medida que a planta vai sendo modificada. O terceiro gerencia o layout do mobiliário que se modifica com a transformação da arquitetura. O quarto bloco modifica o volume tridimensional. E, por fim, o quinto bloco calcula a área resultante das transformações. Os controladores (sliders e controladores booleanos) estão concentrados em outro bloco, facilitando a operação do código.

Parte-se de uma unidade arquitetônica mínima composta por sala, cozinha, banheiro e um dormitório. Soma-se um total de 52, 61 m². Sua representação busca identificar os elementos construtivos do sistema escolhido. As paredes são compostas de dois painéis de OSB de 9mm de espessura, com pilares do mesmo material estruturando os pórticos. As aberturas, portas e janelas,

também estão identificadas. Um layout de mobiliário busca facilitar a compreensão dos desenhos e percepção do dimensionamento dos ambientes. O volume tridimensional permite a visualização do volume resultante.

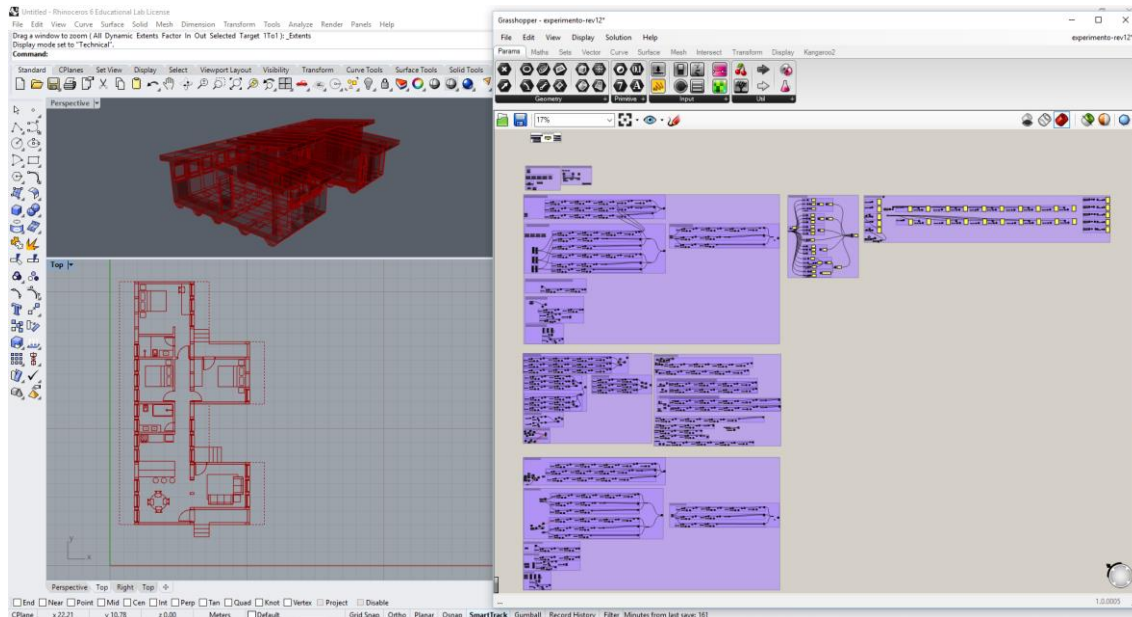


Figura 4 – experimento associando o sistema construtivo ao script de personalização

Fonte: Autor (2019)

A sala oferece duas opções. Simples ou prolongada. Ambas opções têm três tamanhos possíveis. Já a cozinha pode ser aberta, com uma parede e do tipo americana, com um balcão voltado à sala. Três tamanhos possíveis também são ofertados. O banheiro pode ser menor, com um box, bacia sanitária e lavatório, ou maior, com banheira e dois lavatórios. O primeiro dormitório também tem três tamanhos possíveis, e tem seu tamanho reduzido caso opte-se por um dormitório no fundo, o que exige um corredor de acesso. Esse dormitório nos fundos também apresenta três tamanhos. Já o eventual quarto lateral, pode existir com ou sem o quarto nos fundos, também com três opções de tamanho. A metragem máxima atingível é de 172,20 m².

Proximamente, será criada uma interface, através de linguagem *Python*, que facilite o diálogo com usuários. Assim, as modificações não serão mais definidas pelos controladores (sliders e controladores booleanos), mas por uma demanda objetiva. Além disso, espera-se associar o volume resultante a um número de placas de OSB necessárias para sua execução, calculando tempo de usinagem e estimativa de custo de material.

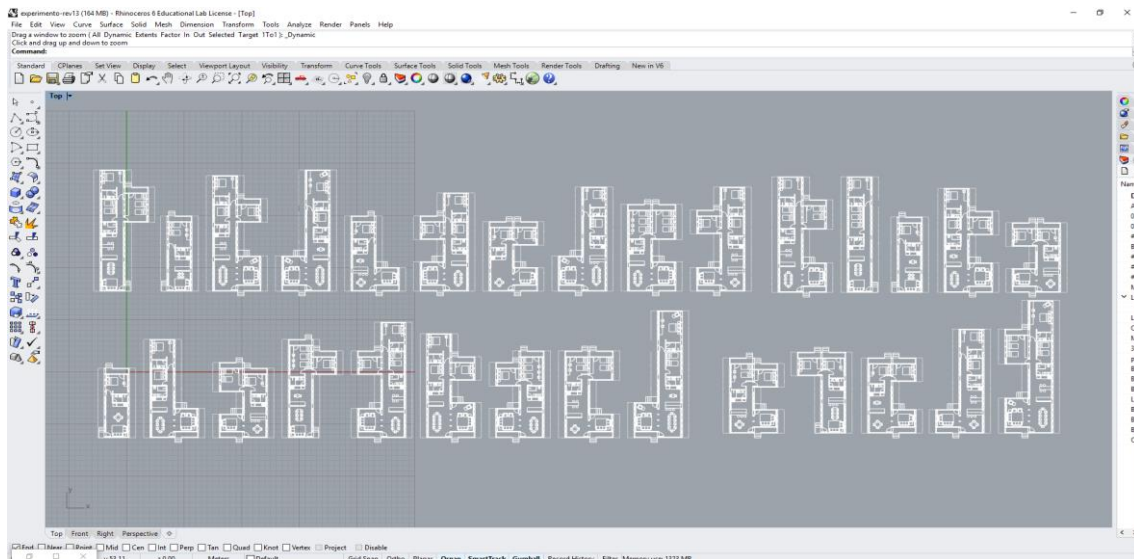


Figura 5 – exemplos de combinações possíveis

Fonte: Autor (2019)

7 CONCLUSÃO

O experimento logrou gerar em minutos uma enorme variedade de plantas diferentes, 5184 combinações possíveis, demonstrando a potencialidade da ferramenta computacional desejada e as vantagens da associação entre processos digitais e processos participativos. Busca-se com isso mostrar a relevância do estudo, o que justifica o seu prosseguimento.

Se neste momento um dimensionamento ainda bastante arbitrário dos ambientes associado a um sistema construtivo foi o definidor das transformações arquitetônicas, em etapas futuras espera-se considerar usos mais flexíveis dos espaços, relações entre moradores, outras soluções construtivas, bem como características adicionais como cores materiais, etc. Também espera-se estudar diferentes formas de expansão em diferentes direções, gerando resultados mais diversos e aumentando as opções de combinações.

REFERÊNCIAS

- CROSS, Nigel. **Design participation**. Manchester: Academy Editions, 1972.
- DAVIS, Stanley M. Future perfect. In: **Human Resource Management in International Firms**. Palgrave Macmillan UK, 1990.
- DUARTE, José Pinto. **Personalizar habitação em série: Uma gramática Discursiva para as Casas da Malagueira do Siza**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 2007.
- FRIEDMAN, Yona. **Toward a scientific architecture**. Cambridge: MIT Press, 1975.
- KOLAREVIC, Branko. (Ed.). **Architecture in the digital age: design and manufacturing**. New York: Taylor & Francis, 2004.
- MACHADO, ANDRÉ; MORAES, WALTER. Por que adotar Customização em Massa? **Revista de Negócios**, v. 15, n. 4, 2011.
- MEREDITH, Michael; SASAKI, Mutsuro. **From control to design: parametric/algorithmic architecture**. Actar-D, 2008.

MITCHELL, William j. **Computer Aided Architectural Design**. Nova York: Van Nostrand-Reinhold Company, 1977.

NATIVIDADE, Verônica Gomes. **Faturas metodológicas nas arquiteturas digitais**. 2010. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

NEGROPONTE, Nicholas. **The architecture machine**. Cambridge: MIT press, 1970.

PINE II, B. Joseph. **Personalizando produtos e serviços: customização maciça**. São Paulo: Makron Books, 1994.

WULZ, Fredrik. The concept of participation. *Design studies*, v. 7, n. 3, 1986.