



## SIGRADI2018 TECHNOPOLITICAS

xxii congresso da sociedade  
iberoamericana de gráfica digital  
22th conference of the  
iberoamerican society  
of digital graphics  
07|08|09|novembro|2018  
iau usp | são carlos | sp br

# WikiHouse: A Generative and parametric tool to customize curved geometries

**David Mendonça**

Universidade Federal Rio Janeiro, LAMO, PROURB | Brazil | davidmendonca@gmail.com

**Andrés Passaro**

Universidade Federal Rio Janeiro, LAMO, PROURB | Brazil | andespasaro@fau.ufrj.br

**Gonçalo Castro Henriques**

Universidade Federal Rio Janeiro, LAMO, PROURB | Brazil | gch@fau.ufrj.br

## Abstract

Current research departs from the WikiHouse an open-source constructive system that enables self-construction and customization in engineered wood. The public platform favours the design and construction using CNC technology and digital manufacture. However, the system application and form vocabulary are bounded to orthogonal profiles geometry. Current research intended to automate the system in an algorithm and to expand the design to curved geometries, what was tested using digital fabrication in 1:1. The system developed allows the personalization of solutions of shell-like geometries that might use less material in more robust solutions, opening new design possibilities for the system.

**Keywords:** WikiHouse; Digital fabrication; Open Source; Parametric design; curved geometries

## INTRODUÇÃO

A possibilidade de construir a própria casa, é ainda uma miragem para a maioria das pessoas. Com a produção em massa, surgem novos processos de produção, entre os quais a pré-fabricação, que permite o acesso à habitação a maior número de pessoas. Na Pré-fabricação a estrutura da casa é dividida em componentes, partes e sub-partes padrão, processados em fábrica e montados como um kit-de-partes no local. Com a pré-fabricação foi possível diminuir o valor total, no entanto com um custo, a diminuição da personalização da produção.

O sistema WikiHouse é um sistema colaborativo open-source de pré-fabricação que promove a auto-construção. Apesar de os desenhos do sistema serem partilhados on-line apresenta um conjunto de soluções limitadas a uma geometria padrão pré-definida e de pórticos ortogonais, difícil de personalizar. Esta pesquisa pretendeu automatizar a geração de alternativas e personalizar as soluções de projeto, introduzindo a possibilidade de gerar geometrias curvas. A utilização de geometrias curvas permite não só a personalizar as soluções, mas a também pode melhorar o aproveitamento de recursos materiais, através de estruturas mais robustas e mais adaptadas ao meio. Como referências de estruturas curvas e resistentes na natureza temos por exemplo a casca de ovo ou as estruturas tipo concha.

## WIKIHOUSE

Em 2011, surge o sistema colaborativo WikiHouse com o objetivo de desenvolver um sistema construtivo utilizando derivados de madeira (Alastair Parvin e Nick Ierodiaconou

2011). Na plataforma on-line da WikiHouse estão disponíveis desenhos que permitem cortar as peças utilizando a tecnologia CNC e a fabricação digital. O nosso Laboratório LAMO/PROURB vem testando e desenvolvendo este sistema WikiHouse desde 2013, tendo executado o sistema na sua totalidade na escala 1:1 na sua versão 3.0 em 2015 com a construção da WikiHouse “Casa Revista”. Ao longo deste tempo fomos testando diferentes encaixes em modelos reduzidos. A partir desta experiência decidimos realizar mudanças estruturais no projeto e no sistema construtivo. No sistema original, encontramos duas limitações. A primeira limitação partia da plataforma existente; o desenho só pode ser desenvolvido manualmente a partir de um plug-in dentro do software Sketchup. A segunda limitação partia da forma, porque esta deveria ser originada a partir do desenho de um pórtico tradicional dentro de um sistema ortogonal. O sistema construtivo da WikiHouse, embora apresente um grande potencial, ainda está limitado a formas pré-estabelecidas. Quando a ferramenta apresentada neste artigo foi desenvolvida (Julho de 2016) não existia ainda nenhuma outra ferramenta paramétrica para a execução desse sistema, ainda que mais recentemente tenham surgido tentativas, que iremos descrever sucintamente. Atendendo às limitações do sistema original esta pesquisa em um primeiro momento modificou a plataforma de desenvolvimento realizando um plug-in em programação visual paramétrica (Rhinceros e Grasshopper). Em um segundo momento desenvolveu novas possibilidades projetuais permitindo flexibilizar o desenho dos pórticos até agora utilizados, permitindo incorporar geometrias curvas e fluidas para a sua execução.

O sistema da WikiHouse tem propiciado vários desenvolvimentos no Brasil, que apesar de terem objetivos específicos diferentes, procuram adaptar o sistema a condicionantes climáticas e sociais locais. Após a casa revista (Passaro e Clarice 2014) um dos primeiros desenvolvimentos foi o da Mackenzie com a adaptação do sistema para o programa “Minha Casa Minha Vida” (Nardelli e Backheuser 2016), que foi depois aprofundado construtivamente, considerando as normas técnicas (Nardelli, Vincent, e Pereira, 2017). Recentemente surgiram outras iniciativas que procuram adaptar o sistema aos trópicos, com o Projeto Casa Nordeste, desenvolvidos por pesquisadores das Universidades de Pernambuco e Paraíba (Branco, Cantalice e Canuto 2017, e Griz, Nome, Queiróz 2017), visando construção de interesse social, de carácter emergencial e evolutivo. Este desenvolvimento tem convergido na utilização de programação visual para acelerar o desenvolvimento de alternativas projetuais. Em 2017, na iniciativa mais recente o sistema foi desenvolvido através de crowd-founding para construir o WikiLab, um FabLab na Universidade Federal do ABC, São Bernardo do Campo, SP.

O projeto apresentado foi desenvolvido em 2016, antes dos desenvolvimentos mais recentes aqui relatados, durante o trabalho final de curso de David Mendonça com Andrés Passaro e Gonçalo Castro Henriques.

## METODOLOGIA

### ANÁLISE DO SISTEMA EXISTENTE

Depois de ter executado em escala 1:1 a versão 3.0 da WikiHouse e de encaixes de outras versões a pesquisa focou estudos na modificação do sistema construtivo da WikiHouse v3.0. Sendo assim, foram realizados estudos de engenharia reversa. Os estudos identificaram três encaixes: os S-Joints, os encaixes dos conectores horizontais secundários, e os encaixes das chapas de fechamento. Realizamos assim a parametrização dos encaixes utilizando programação visual, dentro do ambiente Rhinoceros e Grasshopper.

### ADAPTAÇÃO DOS ENCAIXES

Uma vez identificados os encaixes e suas geometrias, estas foram parametrizadas através da programação visual, utilizando algoritmos. Partindo do desenho da curva de perfil 2D dos pórticos é definida a localização dos pontos com encaixes, que servem de referência para o desenvolvimento da geometria. Os encaixes foram adaptados para diferentes orientações e ângulos, para assegurar a construção de uma gama geométrica ampla de formas.

### ADAPTAÇÃO A GEOMETRIAS CURVAS

Partindo do sistema existente, um dos objetivos específicos foi a adaptar a sua aplicação a geometrias curvas. Para tal foi necessário estudar as características geométricas da curva base de perfil, nomeadamente a curvatura, identificando os máximos e mínimos locais da curvatura e os pontos de inflexão. A identificação destas singularidades permite perceber qual a melhor localização para os encaixes. Estudando a curvatura, ficou evidente que quanto menor a curvatura, mais fácil é a colocação dos encaixes. A localização dos encaixes além de considerar estes pontos específicos considerou a

distância entre estes pontos, tendo como referência a distância base no sistema original. De referir que o desenvolvimento algorítmico dos encaixes, obrigou a utilizar lógicas de desenho associativo, uma que os encaixes são definidos de maneira relativa entre si (por exemplo uma dimensão é metade da espessura), representando uma superação relativamente ao sistema métrico absoluto. Este tipo de definição permitiu ultrapassar limitações da versão original em que tanto a estrutura como as chapas de fechamento são fabricadas em compensado rígido 18mm. Podendo variar a espessura foi possível utilizar chapas de menor espessura, para realizar geometrias curvas. Neste caso os encaixes foram adaptados para utilizar chapas de fechamento em compensado flexível de 6mm, (dobra do tipo balcão).

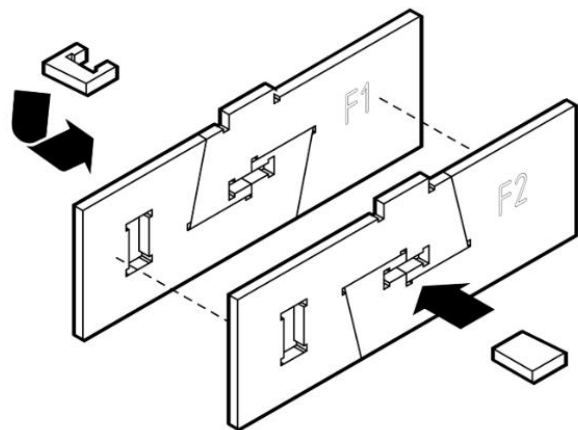


Figura 1: Encaixe S-Joint. Fonte: autores.

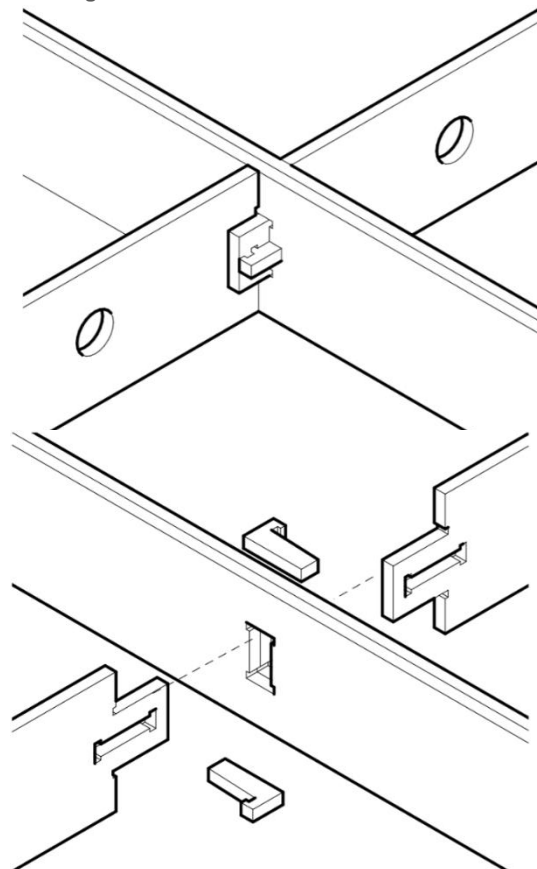
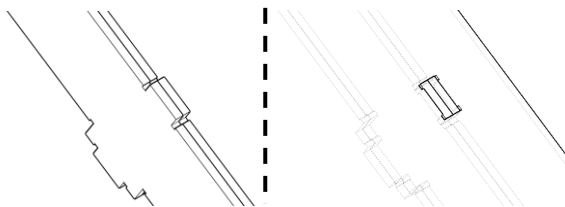
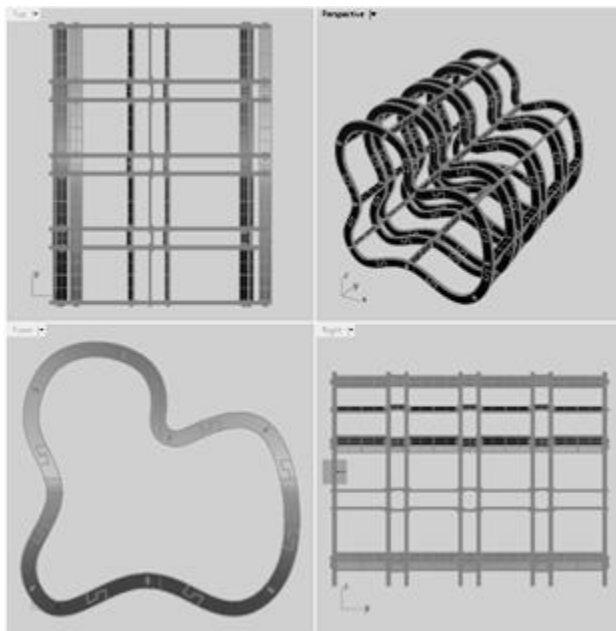


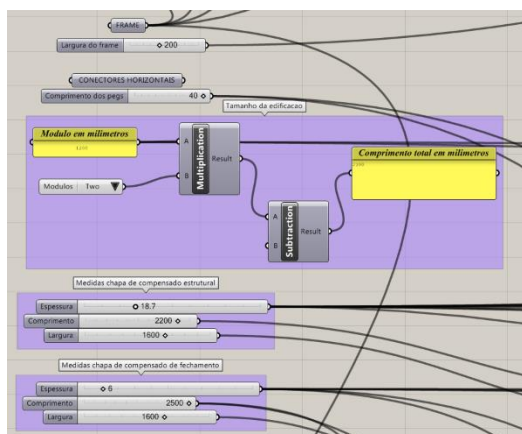
Figura 2 e 3: Encaixe do conector horizontal secundário. Fonte: autores.



**Figura 4:** Encaixe da chapa de fechamento (com a chapa de fechamento). Fonte: autores.



**Figura 5:** Formas diversas foram testadas, para garantir e avaliar o funcionamento dos encaixes em situações adversas. Fonte: autores.



**Figura 6:** Resumo das informações parametrizadas. Fonte: autores.

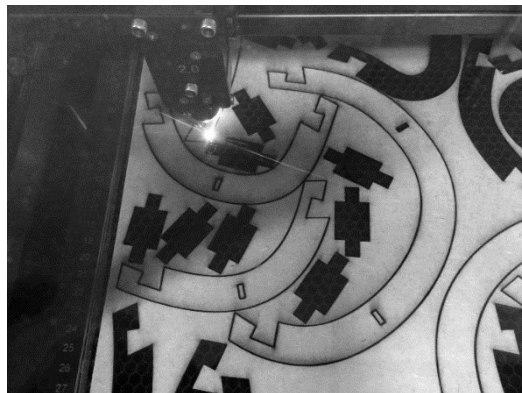
Em um segundo momento, através da programação visual, as etapas anteriores foram codificadas através de um algoritmo, que utiliza parâmetros automatizando o desenvolvimento tradicional da WikiHouse.

A metodologia utilizada, testou a aplicação dos algoritmos através de modelos em diferentes escalas, sendo desenhando, fabricado e construído um modelo de aplicação na escala 1:1. Como resultado do desenvolvimento temos os protótipos físicos que agora abordaremos e o algoritmo, que será melhorado testando o processo de fabricação e construção, através do feedback de um processo computacional integrado.

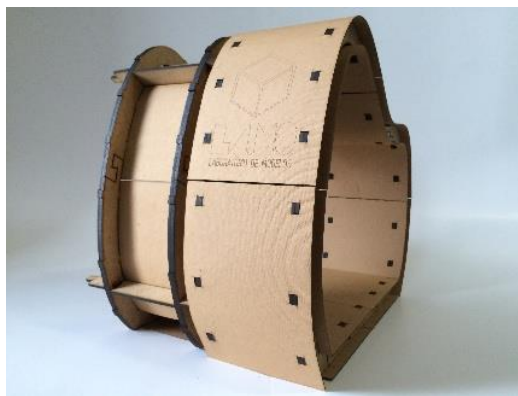
## RESULTADOS

### PROTOTIPAGEM

Como resultado a pesquisa começou por executar modelos reduzidos em MDF 3mm na escala 1:50, e utilizando uma máquina de corte a laser que atestaram o desenvolvimento do projeto, que depois foi construído na escala 1:1. O protótipo na escala 1:1 foi fabricado em compensado rígido 18mm e compensado flexível 6mm. As peças foram cortadas em máquina router CNC em Julho de 2016. Este desenvolvimento permitiu o entendimento das dificuldades e limitações, seja no processo de projeto, como na fase construtiva. Nas questões de projeto foi possível identificar o universo de aplicação a curvas, nomeadamente o tipo de curvas que é possível utilizar, no que refere à sua curvatura e regularidade. Na prática a fabricação digital não só permite testar as ideias intuitivas no desenho, como identificar as tolerâncias necessárias para os diferentes tipos de encaixes, que são diferentes quando se trata de utilizar a cortadora a laser ou a router CNC.



**Figura 7:** Fabricação das peças em MDF 3mm com corte a laser. Fonte: autores.



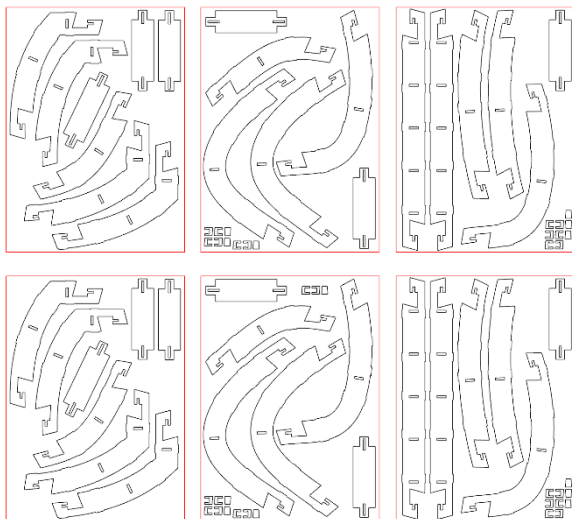
**Figura 8:** Protótipo fabricado em MDF 3mm com fechamento em papel couro 1mm. Fonte: autores.

Devido a limitações financeiras e de equipamentos do laboratório LAMO/PROURB, foi necessário encontrar uma forma para viabilizar a construção de um protótipo na escala real. Esta limitação obrigou a que o autor estudasse o funcionamento de uma CNC e do seu interpretador de G-Code, para poder operar a CNC diretamente para cortar as peças do pórtico por si desenhado.

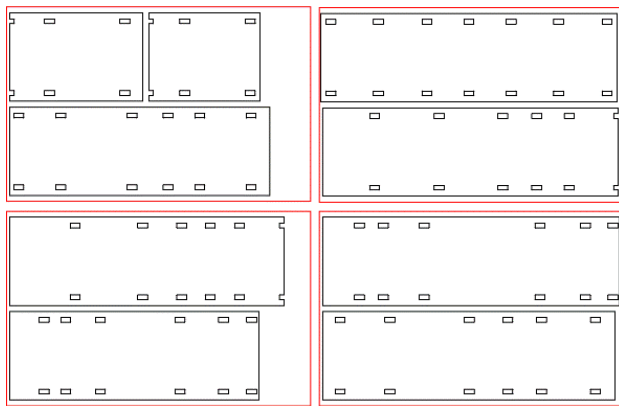
Para o protótipo final foram usinadas em uma router CNC um total de 6 chapas de compensado rígido 18mm, e 4 chapas de compensado flexível 6mm. O processo de



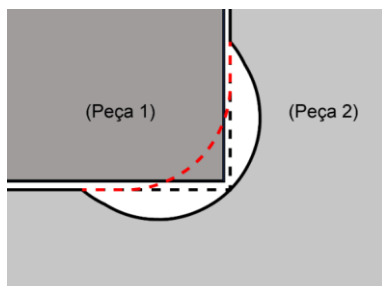
corte levou 2 dias para ser concluído, tendo sido fabricado um total de 73 peças. A usinagem em CNC tornou necessário a inclusão de um novo parâmetro no algoritmo, para além dos encaixes que já haviam sido parametrizados: o “dogbone”. Este parâmetro surge da necessidade de adaptar a geometria da fresadora (seção circular) às necessidades de fabricação dos encaixes. Como nenhuma fresadora é capaz de reproduzir ângulos internos menores que  $179^\circ$  sem deixar na geometria um registro do raio da seção circular da fresa, um recurso utilizado é fazer com que a fresa dê “um passo” a dentro da peça, afim de garantir o encaixe como demonstrado na figura 11.



**Figura 9:** Chapas de corte em CNC, compensado 18mm. Fonte: autores.

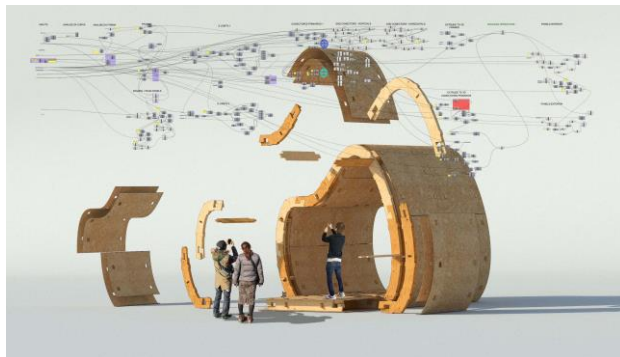


**Figura 10:** Chapas de corte em CNC, compensado 6mm compensado flexível. Fonte: autores.



**Figura 11:** Aplicação do dogbone nos desenhos de corte usados na router CNC. Fonte: autores.

Em preto-tracejado: a trajetória original do corte, porém, impossível de ser reproduzida com uma fresadora. Em vermelho-tracejado: a trajetória da fresa sem aplicar o dogbone, o que impossibilitaria o encaixe da peça 2 na 1. Em preto contínuo: a trajetória da fresa com o dogbone aplicado, o que possibilita o encaixe da peça 2 na 1.



**Figura 12:** Ilustração gráfica da montagem. Fonte: autores.



**Figura 13:** Protótipo fabricado em compensado rígido 18mm e compensado flexível 6mm. Fonte: autores.

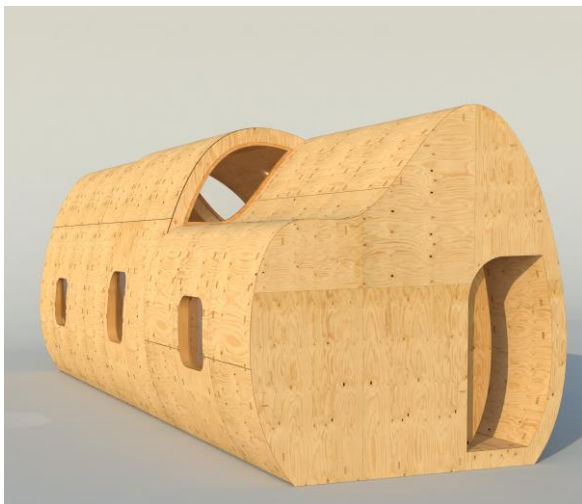
## MONTAGEM

A montagem foi executada como o sistema original: a estrutura foi primeiro montada e depois erguida, em seguida foram fixadas as chapas de fechamento interno e externo. O processo de montagem trouxe maior clareza sobre os detalhes da adaptação do sistema a geometrias curvas, e contribuiu para um melhor entendimento do problema estudado.

## CONCLUSÕES

Os protótipos construídos em escala reduzida e 1:1 permitiram verificar a real possibilidade de parametrização e personalização do desenho da WikiHouse. O algoritmo desenvolvido permitiu experimentar fabricar e construir um pórtico de perfil curvo, forma até então não testada, o que permite superar limitações formais das versões anteriores da WikiHouse. O algoritmo permite definir diferentes perfis

curvos para cada seção, que permitem obter um desenho personalizado. No entanto quando juntados diferentes perfis curvos (Fig. 14) tornou-se evidente que é necessário estudar a junção entre os perfis curvos, nomeadamente se houver aberturas entre eles. Também o grau máximo de curvatura, em função do material utilizado nos perfis e revestimentos deve ser caracterizado. Espera-se obter com este desenvolvimento novas possibilidades de abordagem construtivas a nível de sistematização e otimização projetual da WikiHouse.



**Figura 14:** Associação de diferentes perfis curvos. Fonte: autores.

A plataforma paramétrica desenvolvida tem potencial de aplicação nomeadamente pode contribuir para o aperfeiçoamento do sistema construtivo, reduzindo o tempo de trabalho entre uma versão e outra do projeto, automatizando as etapas de modelagem, permitindo encurtar e tornar mais eficiente as etapas de desenho do projeto.

A discussão parte de uma mudança de paradigma enquanto um processo de desenho com as limitações do desenho digital para a fabricação de uma ferramenta paramétrica o que nos permite um avanço nos processos de desenho e de fabricação digital. Se antes tínhamos as limitações do chamado Desenho Digital classificado pela Rivka Oxman (2005), a pesquisa agora propõe a passagem deste desenho Digital para os processos chamados de Desenho Computacional. Dentro deste contexto explicitado por Oxman. Nos deparamos assim com uma ferramenta de CAD Avaliativo, e nos propusemos traduzi-la para uma ferramenta Formativa Associativa de índole Paramétrica. Outra área também referida por Oxman é a simulação digital que permitirá otimizar a distribuição dos encaixes e otimizar as curvas dos perfis num futuro próximo. A otimização poderá ainda ajudar a escolher que curvas são mais adequadas como perfil e como a forma da construção se pode adaptar à sua localização geográfica e ao ambiente em que se insere.

A parametrização do sistema da WikiHouse permite maior rapidez na elaboração do projeto e através de desenho paramétrico, podem ser incorporadas progressivamente pequenas variações, que podem ser realizadas

rapidamente sem prejuízo do desenho executivo. Desta maneira mudanças formais acontecem constantemente com estas mudanças de parâmetros, situação que nos permite modificar os pórticos possibilitando conceber e fabricar separadamente cada um dos pórticos a partir de curvas variáveis. Este tipo de geometria permite conceber edifícios mais robustos, controlando a utilização de material, uma maior continuidade geométrica, que permite revestimentos contínuos, e formas que se aproximam de cascas e conchas. Assim, permite re-naturalizar o uso da madeira e dos seus derivados. A parametrização potencia a customização em massa, facilitando a produção de uma gama mais ampla de projetos que, embora apresentem um design diferente, compartilham o mesmo "DNA algorítmico", uma vez que foram gerados pela mesmo algoritmo.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço aqui ao laboratório LAMO por ter acolhido este projeto, oferecendo as condições necessárias para seu desenvolvimento. A todas as pessoas da equipe do LAMO, professores, técnicos e alunos, que durante a etapa de montagem se mobilizaram fornecendo todo apoio necessário e mão de obra. A Foco Design pela parceria em disponibilizar a Router CNC utilizada na fabricação das peças.

## REFERÊNCIAS

- Passaro, Andrés; Rohde, Clarice; "Casa Revista: arquitetura de fonte aberta", p. 70-76. In: São Paulo: Blucher, 2015. ISSN 2318-6968, ISBN: 978-85-8039-136-7 DOI 10.5151/sigraDi2015-30043
- Nardelli, Eduardo Sampaio; Backheuser, Luiz Alberto Backheuser; "Sistema WikiHouse aplicado ao Programa Minha Casa Minha Vida", In: SIGraDi 2016 [Proceedings of the 20th Conference of the Iberoamerican Society of Digital Graphics - ISBN: 978-956-7051-86-1] Argentina, Buenos Aires 9 - 11 November 2016, pp.297-304
- Branco, Bruna; Canuto, Robson; Cantalice, Aristóteles; "Fabricação Digital Aplicada à Habitação de Caráter Emergencial: Um estudo sobre a adaptação de WikiHouses ao contexto ambiental brasileiro", p. 325-332. In: São Paulo: Blucher, 2017. ISSN 2318-6968, DOI 10.5151/sigraDi2017-051
- Nardelli, Eduardo Sampaio; Pereira, Vinicius Juliani; "Autoconstrução, Fabricação Digital e a Construção Autônoma", p. 340-344. In: São Paulo: Blucher, 2017. ISSN 2318-6968, DOI 10.5151/sigraDi2017-053
- Griz, Cristiana; Queiroz, Natália; Nome, Carlos; "Edificação Modular: Estudo de caso e protótipo de um sistema construtivo de código aberto utilizando prototipagem rápida", p. 261-268. In: São Paulo: Blucher, 2017. ISSN 2318-6968, DOI 10.5151/sigraDi2017-042
- Bergdoll, B., Christensen, P., & Broadhurst, R. (2008). Home delivery: fabricating the modern dwelling. Nova York: Museum of Modern Art New York.
- SASS, Larry, BOTH, Marcel. The Instant House: A Model of Design Production with Digital Fabrication. International Journal of Architectural Computing. Cambridge, dez. 2006. Volume 4, Issue 4. Disponível em: < <https://architecture.mit.edu/sites/architecture.mit.edu/files/attachments/publication/01-05-instant-house.pdf> >. Acesso em: 11 abr. 2016.
- WikiHouse: An Open Source Building System. Disponível em: < <http://www.wikihouse.cc/about/> > Acesso em: 11 Nov 2015