

Digitally Prefabricated Houses: A Comparative Analysis of Executed Projects

Bárbara L. Felipe ¹, Carlos Nome ²

¹ Universidade Federal Rural do Semi-Árido e Universidade Federal da Paraíba, Brasil
barbaralfelipe@gmail.com

² Universidade Federal da Paraíba, Brasil
carlos.nome@gmail.com

Abstract. In Brazil, the application of wood in contemporary constructions is concentrated in the south and southeast. However, the entire country has area for cultivation and forest management, which is favorable for expansion in such applications. Wood is capable of absorbing CO₂ and consumes little energy in production and manufacturing. During the COVID-19 pandemic, the deficiencies of the building typologies became evident. This research aims to analyze digitally executed prefabricated houses such as Instant House (1), Digitally Fabricated House (2) by Sass, and WikiHouse (3) by Parvin; under the categories of Cardoso (2016): modulation, reversibility, and flexibility. The deductive method was used to investigate assumptions among the three case studies; and grounded in scientific literature to analyze and collect data. In general, the solutions studied enabled customizable systems allied to wood panels, modules, and fittings as generators of architectural form.

Keywords: Digital prefabricated house, Digital fabrication, Parametric design, Parametric architecture

1 Introdução

No atual contexto de discussões sobre as consequências da indústria 4.0 bem como novos processos tanto de projeto quanto de construção, surgem explorações das mais variadas, em termos de forma tipo, e escopo. Ao considerarmos também que a incorporação de processos contemporâneos de projeto e construção convivem com distintas realidades, demandas, contextos e tradições socioeconômicas, surgem dúvidas sobre o alinhamento das respostas alcançadas a contextos externos aos que nortearam os desenvolvimentos em questão. Da mesma forma, a história e práticas da

indústria da Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação (AECO) variam muito entre continentes e países, que por sua vez, traz uma camada adicional de complexidade a esta discussão. Assim sendo, o artigo apresenta brevemente o contexto da construção em madeira Latino Americano como suporte à discussão e objetiva analisar casas pré fabricadas digitalmente executadas, sob a ótica de Cardoso (2016): modulação, reversibilidade e flexibilidade. Utilizou-se o método dedutivo para explorar três estudos de caso; e, embasamento teórico da arquitetura em madeira, design paramétrico aplicado à arquitetura e sobre a casa pré-fabricadas digitalmente em madeira, para analisar e coletar dados; e por fim, resultados e discussões.

1.1 Arquitetura em Madeira

A construção civil na América Latina, pós colombiana, tem fortes relações com a ocupação do território, no qual os colonizadores (portugueses e espanhóis) que trouxeram técnicas construtivas vinculadas aos trabalhos com pedras e tijolos (Benevente, 1995). Esse modelo construtivo destoa das técnicas utilizadas no Hemisfério Norte (América do Norte, Japão e Europa), onde o processo colonial foi diferente. Nesses locais, a madeira se destaca em seu alinhamento a políticas públicas e a processos industriais, assegurando a qualidade. Isso ocorre no controle na plantação, usinagem, beneficiamento do material até o produto final (Bittencourt, 1995; Mello & Bittencourt, 2009).

Na América Latina, a construção informal é uma realidade. Há uma parte destas edificações que acabam sendo construídas em madeira com técnicas e materiais inadequados, o que acarreta a baixa qualidade e problemas com agentes biológicos e físicos (Figura 1). Por vezes, essas edificações são resultado do baixo nível de entendimento por parte dos projetistas, sobre as potencialidades do material e dos requisitos técnicos necessários para obtenção de qualidade (Espíndola, 2010; Mello & Bittencourt, 2009).

No Brasil, as técnicas construtivas em madeira aplicadas nas casas foram provenientes da cultura dos europeus e japoneses, estes vieram como mão de obra barata para trabalhar no país na época da colonização. O uso da madeira foi disseminado no interior de São Paulo e na Região Sul do país (

Figura 2). Isso acarretou grandes derrubadas de florestas, tanto para construção como para formação de zonas produtoras de café, entre os séculos XIX e XX (Laroca, 2002; Meirelles et al., 2007; ZANI, 2013).

O cenário brasileiro tem um quadro favorável para o crescimento do setor construtivo em madeira, pois há área disponível para o cultivo e manejo florestal sustentável. No entanto, este potencial contrasta com a baixa participação de projetistas especializados no setor da construção em madeira. No Brasil, durante a vigência do Programa Minha Casa Minha Vida (MCMV), subsidiado pelo Governo Federal, a madeira foi aplicada em habitação de interesse social (Figura 3 e Figura 4).



Figura 1 – Casa feita com reuso de madeira. Fonte: GARCIA (2014)



Figura 2 – Primeira catedral de Londrina (modelo). Fonte: UEL (2008)



Figura 3 - Residencial Haragano. Fonte: Garcia (2014)



Figura 4 – Casa social em madeira. Fonte: Garcia (2014)

O uso da madeira é coerente com as assimetrias no meio ambiente que processos convencionais (concreto, alvenaria ou aço) acarretam. Trata-se de uma discussão ativa em diversos países no mundo, pautada na utilização de materiais alternativos em detrimento aos materiais convencionais. Além da baixa energia embutida na produção da madeira, há uma redução no impacto do meio ambiente e a alta capacidade de reciclagem. Ao fim do ciclo de vida destes edifícios, há uma dificuldade em separar os resíduos, o que impossibilita seu reuso (Mateus, 2004).

A madeira é uma alternativa viável, por ter capacidade de absorver o CO₂ (dióxido de carbono), o que contribui para as políticas de emissão carbono, além do baixo consumo energético nas etapas de produção e manufatura (Laroca, 2002; ZENID, 2009). Além disso, uma edificação em madeira quando é demolida, possibilita que as peças possam ser utilizadas na fabricação de móveis ou outros componentes, como em Savalli (2013).

Debnath *et al.* (2020) afirma que a baixa qualidade das casas e a percepção do desconforto ao calor tem sido acentuada no cenário da Pandemia do Covid-19. A estratégia para não lidar com o calor, antes das práticas de isolamento social era “sair à rua durante o dia e a noite”, horários em que desconforto é mais intenso. O uso de materiais inadequados é agravado pela falta de compreensão de estratégias bioclimáticas adequadas a diferentes regiões. Assim, a arquitetura adaptada ao clima oportuniza novas perspectivas para tipologias de habitação. A exploração de habitações compactas se enquadra nesta categoria e reduz tempo para construção, quando utiliza racionalmente materiais. O uso da modulação também auxilia na produção e construção de residências (Rosso, 1976, 1980).

Cardoso (2016) ressalta que a partir da modulação é possível prever diversos usos que geram um potencial para dar sobrevida a elementos. A modulação também auxilia na manutenção, rearranjos ou substituição de peças similares ou complementares. Outro conceito que auxilia é a reversibilidade e, conseqüentemente, na exploração do *design for*

disassembly. Assim, é possível entender que um produto é algo flexível e está inserido no contexto do uso contemporâneo.

Portanto, essa pesquisa tem como objetivo comparar as casas pré fabricadas digitalmente desenvolvidas por *Instant House*, *The Digitally Fabricated House for New Orleans* do prof Larry Sass (MIT/EUA) e *WikiHouse* do Alastair Parvin sob a ótica dos parâmetros definidos por Cardoso (2016).

1.2 Design paramétrico aplicado à arquitetura

A arquitetura, quando idealizada digitalmente, pode ser subsidiada por parâmetros, sistemas dinâmicos e algoritmos (Kolarevic, 2003). O pensamento algorítmico aplicado ao design paramétrico permite a expressão de parâmetros e regras, as quais definem a relação entre a intenção e a resposta do projeto (Jabi, 2013). Desse modo, por exemplo, é possível relacionar a geometria da arquitetura e os condicionantes dos materiais construtivos na forma de parâmetros (Kolaveric, 2000).

Então, se o design paramétrico possibilita a configuração de parâmetros, necessita-se estabelecer as perguntas (ou regras) que participarão no começo do projeto (Jabi, 2013). Essas questões serão transformadas em variáveis e, posteriormente, em definição computacional para gerar os resultados. Assim, a cada variação gera-se um novo resultado (Oxman, 2006). Com isso, quanto maior o nível de integração, maior a probabilidade de resolver o problema arquitetônico (Karle & Kelly, 2011).

A integração de fabricação digital aplicada em casas é algo recente. O precursor, Sass (2007), aborda os benefícios dessa integração nos sistemas CAD: precisão, tolerância e flexibilidade. Esses fatores podem ser previstos e transferidos para a fabricação digital. Segundo Sass, nesse processo, a edificação passa pela desconstrução da maquete digital em superfícies da edificação, depois a composição de união entre as partes por meio de conectores e, por fim, a planificação das formas em elementos 2D a partir das formas tridimensionais para corte. Dessa forma, quando design paramétrico é associado à indústria construção ele possibilita novos modos de projetar, fabricar e representar. Isso influencia desde das pequenas decisões e formas de ocupação, até estruturas complexas de grande porte e urbanos (Sykes, 2013).

1.3 Casas pré-fabricadas digitalmente em madeira

A utilização de madeira em casas pré fabricadas digitalmente é interessante, segundo Menges et al. (2016), em função das possibilidades de design, simulação e fabricação, facilidade de integração ao ambiente construído, bem como variação nas formas e modos de união entre as peças. Para Kilian (2016), a madeira se destaca por ser fácil de moldar e utilizar ferramentas de construção, ressaltando a facilidade de manuseio para definir as curvas de navios, mobiliários e edifícios. A usinabilidade o torna ideal para exploração de

formas complexas e a integração a processos de fabricação digital (Buri & Weinand, 2011; Kilian, 2016).

Esse assunto está presente na literatura, como em Elsayed (2015), que realizou a caracterização das edificações em madeira pré-fabricadas e concebidas digitalmente entre os anos de 1995 e 2015; e no trabalho realizado por Sofia e Blair (2019), onde são abordadas as habitações construídas em Londres, Alemanha, Holanda e Estados Unidos.

Objetivo

O objetivo é comparar as casas pré fabricadas digitalmente *Instant House*, *The Digitally Fabricated House* do prof Larry Sass e *WikiHouse* do Alastair Parvin sob a ótica dos parâmetros de modulação, reversibilidade e desmontabilidade (Cardoso, 2016).

Metodologia

A pesquisa foi desenvolvida com base no *Constructive Research* que busca resolver de forma prática um problema real e contribuir para a teoria na qual ela é aplicada (Kasanen et al., 1993). Utilizou-se o método dedutivo que investiga premissas do comparativo entre os três estudos de caso e embasados nos parâmetros de Cardoso (2016). Utilizou-se a literatura científica para coletar e analisar dados para os estudos de caso a partir dos parâmetros de modulação, reversibilidade e desmonte. Três casas foram selecionadas para este estudo. A primeira casa é a *Instant House* (Sass & Botha, 2006) construída em 2005 pelo Prof. Lawrence Sass (MIT/EUA). Esse projeto é pré-fabricado em madeira, na qual a estrutura foi fabricada digitalmente, mas montada manualmente (Figura 5). A partir do tamanho de uma folha de compensado (Figura 6), as dimensões foram definidas (Sass & Botha, 2006).

A segunda habitação é a *The Digitally Fabricated House* para Nova Orleans (EUA), construída em 2008, como abrigo para as vítimas do Furacão Katrina. Este projeto foi exposto no Museu de Arte Moderna no mesmo ano (

Figura 7). A casa demonstrou a capacidade da fabricação auxiliada por computador utilizando a produção em série (Sofia & Blair, 2019).

E por fim, a *Wiki House*, que é um projeto de código aberto de Alastair Pavim, idealizada em 2012. O projeto está disponível no formato do software SketchUp, assim qualquer pessoa pode modificar o projeto (Figura 8). Esse modelo gera desenhos prontos para a fabricação digital e montados manualmente (Cruz, 2016).



Figura 5. *Instant house* construída Fonte: Digital Design Fabrication Group (2020b)

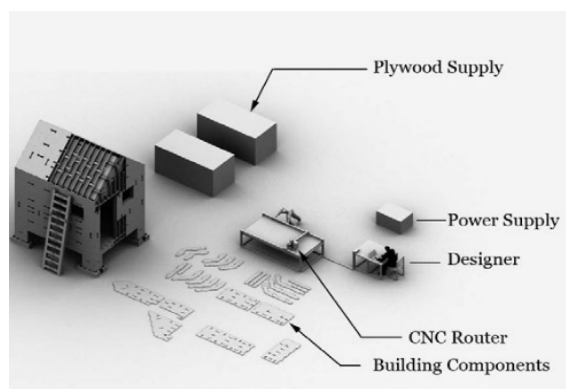


Figura 6. Processo de construção Fonte: Sass e Botha (2006)



Figura 7. A casa fabricada digitalmente para Nova Orleans Fonte: Sofia e Blair (2019)

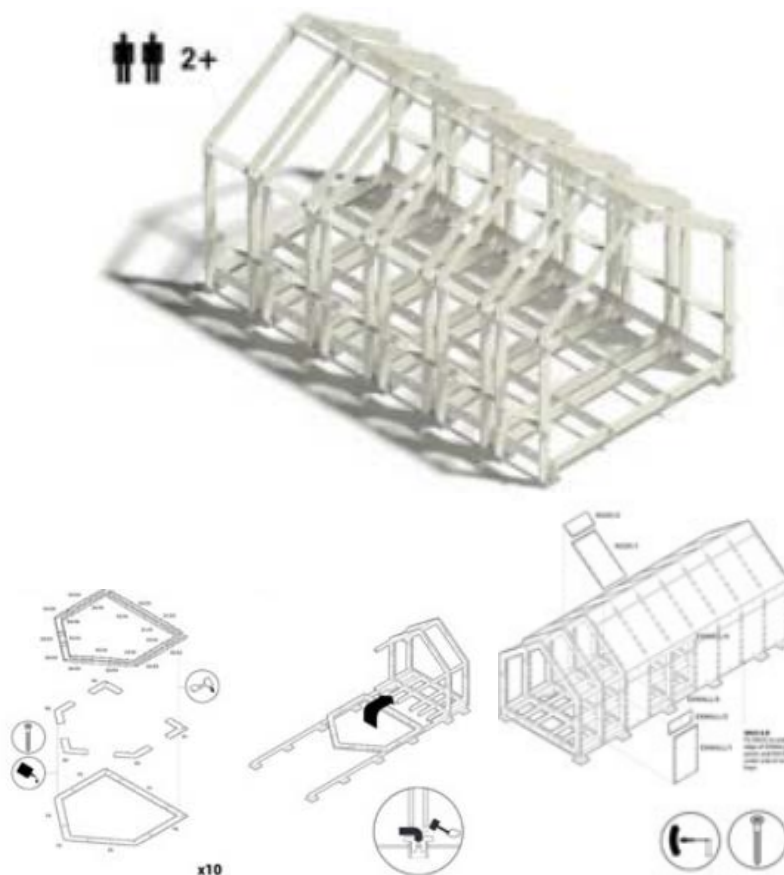


Figura 8 - Wikihouse Fonte: <https://www.wikihouse.cc>

Resultados e discussões

Essa pesquisa analisa três estudos de caso, sendo o caso 01: *Instant House*; caso 02: *The digitally fabricated house for New Orleans* (Casa fabricada digitalmente para Nova Orleans) e caso 03: *WikiHouse*. Todas se assemelham pela facilidade na construção e na utilização da madeira como material primário. Apesar disso, há parâmetros que são distintos.

O estudo de caso 01 foi construído em um mês por quatro pessoas com cinco ferramentas. Para isso, foram utilizadas 114 folhas de compensado nas dimensões de 1,21m x 2,43m x 0,076 de espessura. O que totalizou 984 peças cortadas em 55 horas, depois impermeabilizadas com selante. Analisados sob a ótica dos parâmetros de Cardoso (2016), sobre modulação, reversibilidade e desmontabilidade. O estudo de caso 01 possui peças que foram montadas de

forma modular, no entanto obedecem a ordem lógica real de uma construção: da base até o telhado (Figura 9).



Figura 9 - Montagem da casa Fonte: Sass e Botha (2006)

Ainda nesse sentido, as peças foram organizadas de forma que coubessem em uma única folha de madeira de compensado, a fim de facilitar o transporte por uma pessoa e ser possível de montá-las com martelo de borracha e pé de cabra (Sass & Botha, 2006), além disso, tem-se que:

“As peças de montagem no local foram fabricadas, mas não otimizadas pelo número total de peças na construção. As peças foram marginalmente otimizadas dependendo da região de montagem, as peças básicas são cortadas primeiro e fixadas aos blocos de alvenaria, os componentes do telhado foram fabricados por último. Os blocos de alvenaria ajudaram a distribuir uniformemente a carga dos edifícios no plano do solo e também ajudaram a elevar o edifício do chão para evitar danos causados pela água” (Sass & Botha, 2006, p. 118).

Utilizando os parâmetros (Cardoso, 2016), a modulação no estudo de caso 01 é realizada, para que as peças fossem encaixadas nas chapas de compensado, visando aproveitar ao máximo as dimensões. A reversibilidade e a desmontabilidade são garantidas a partir do encaixe das peças sem a utilização de objeto perfurantes, tais quais como pregos ou parafusos. Desse

modo, é possível montar a estrutura da *Instant house* e desmontá-la posteriormente.

No estudo de caso 02, a casa foi montada com 7.000 peças sustentadas por encaixe no mesmo sentido da habitação anterior. Os componentes secundários (ornamentação, portas e janelas) também foram montados através de encaixe rápido, ver Figura 10 (Sofia & Blair, 2019).



Figura 10 - Casa e componentes ornamentais Fonte: Sofia e Blair (2019)

O estudo de caso 02 utilizou técnicas de fabricação digital para demonstrar as variações e personalizações disponíveis; assim a casa não se limita à pré-fabricação ou repetição. A otimização do corte das peças, assim como no Estudo de caso 01, foram realizadas para adequar as peças nos tamanhos padrão de folhas de compensado (Sass, 2007). Desse modo, a casa possui um sistema de construção baseado em peças planas, mas a modulação está no encaixe das peças nas placas de compensado. Os conceitos de desmontabilidade e reversibilidade também são garantidos pela união das peças por fricção.

Por fim, no estudo de caso 03, as conexões também são baseadas em sistemas de encaixe, o que permite a montagem e desmontagem sem necessidade de pregos, parafusos ou colas. Esse sistema se baseia em um quebra-cabeça, no qual as peças facilitam a montagem, garantem rapidez de execução e flexibilidade. Assim, uma vez que peças são desencaixadas, elas podem ser alteradas, ampliadas ou reduzidas. A montagem é feita em pórticos que definem as estruturas da habitação, na qual são erguidas e encaixadas (Figura 12). Geralmente, o material utilizado são painéis em madeira (OSB ou MDF), ademais as casas também são elevadas do solo e construídas sobre base de concreto ou pedra (Branco et al., 2017; WikiHouse, 2020).

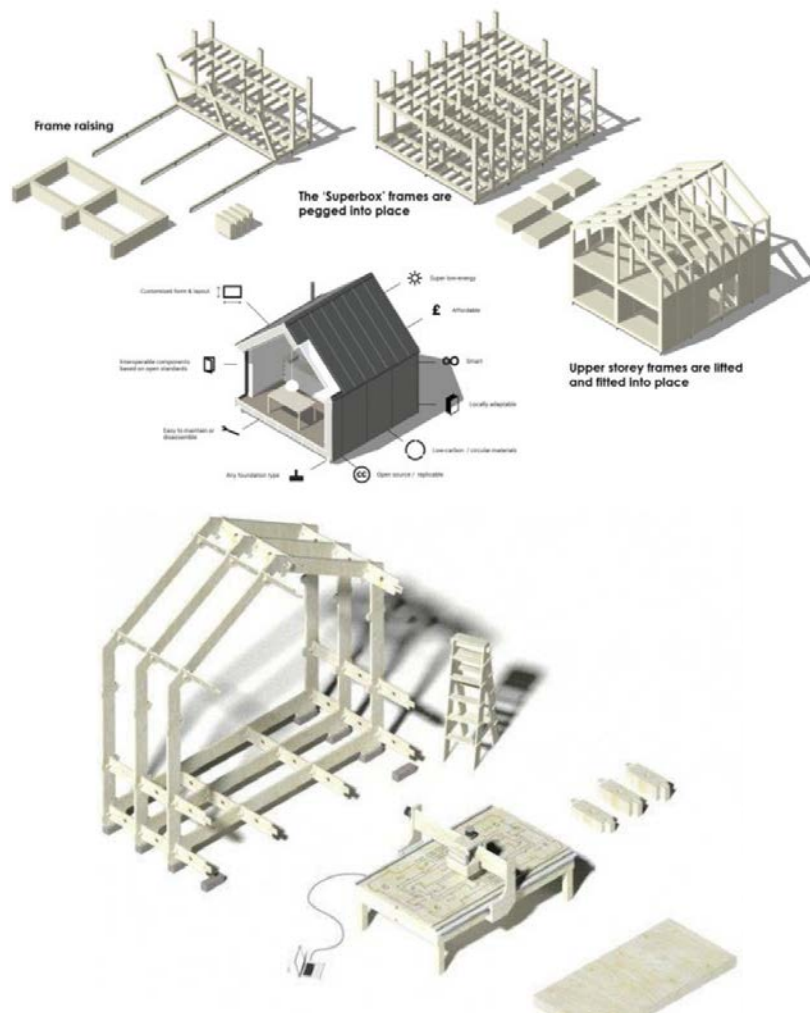


Figura 11 - Sistema de montagem da WikiHouse Fonte: Wikihouse (2020)

Conclusões

A partir da aplicação dos parâmetros nas casas pré fabricadas digitalmente: modulação, reversibilidade e desmontabilidade (Cardoso, 2016) foi possível observar que os conceitos de modulação foram utilizados para o encaixe das peças nas placas de compensado, como na *Instant House* (caso 01) e *The Digitally Fabricated House* (caso 02) e sob uma ótica micro na *WikiHouse* (estudo de caso 03). Neste, observa-se que as peças são moduladas e quando montadas se estruturam como pórtico para estruturar a habitação.

Ao comparar as possibilidades de reversibilidade e desmontabilidade entre as habitações, observa-se uma semelhança entre os casos. Uma vez que utilizam o mesmo sistema de encaixe por fricção e não há utilização de pregos, parafusos ou colas. Desse modo, a modificação ou a substituição das peças para manutenção (Cardoso, 2016) é feita de forma eficaz. No entanto, ressalta-se que a exatidão na produção dos encaixes pode determinar o grau de fragilidade ou não do sistema. Assim, o uso das máquinas fresadoras e brocas devem ser realizados com cautela. Há relatos da necessidade de lixar ou modificar peças pela dificuldade de encaixá-las.

As análises demonstram que é possível construir uma casa pré-fabricada digitalmente, com sistemas personalizáveis e passíveis de customização. Ressalta-se também que apesar de serem parecidas, apenas a *WikiHouse* é de código aberto – acesso liberado ao público, resultando em maior possibilidade de variações e contribuições no sistema. Portanto, observa-se que a implementação de painéis em madeira, módulos e sistemas de encaixes são eficazes quando aplicados como gerador de forma arquitetônica.

Referências

- Benevente, V. A. (1995). *Durabilidade em construções de madeira – uma questão de projeto*. Universidade de São Paulo.
- Bittencourt, R. M. (1995). *Concepção arquitetônica da habitação em madeira*. Universidade de São Paulo.
- Branco, B., Canuto, R., & Cantalice, A. (2017). *Fabricação Digital Aplicada à Habitação de Caráter Emergencial: Um estudo sobre a adaptação de WikiHouses ao contexto ambiental brasileiro*. 325–332. <https://doi.org/10.5151/sigradi2017-051>
- Buri, H. U., & Weinand, Y. (2011). The Tectonics of Timber Architecture in the Digital Age. *Building with Timber Paths into the Future*, 56–63. <https://infoscience.epfl.ch/record/174433>
- Cardoso, R. (2016). *Design para um mundo complexo* (Vol. 1, Issue 9). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Cruz, N. L. (2016). *Da produção à customização em massa: parametrização e desenvolvimento do sistema construtivo Wikihouse. Requalificação da frente marítima de Sines: Centro de Alto Rendimento em Vela*. <https://repositorio.iscte-iul.pt/handle/10071/13196>
- Debnath, R., Simoes, G. M. F., Bardhan, R., Leder, S. M., Lamberts, R., & Sunikka-Blank, M. (2020). Energy justice in slum rehabilitation housing: An empirical exploration of built environment effects on socio-cultural energy demand. *Sustainability (Switzerland)*, 12(7). <https://doi.org/10.3390/su12073027>
- Digital Design Fabrication Group, D. M. (2020a). *Digitally Fabricated House for New Orleans*. <https://ddf.mit.edu/news/2014/project-summary>
- Digital Design Fabrication Group, D. M. (2020b). *Instant House*. <http://ddf.mit.edu/milestones/instanthouse>

- Elsayed, K., & Fioravanti, A. (2015). Digitally fabricated housing: tracking the evolution through two decades. In R. H. C. and A. Stephan (Ed.), *49th International Conference of the Architectural Science Association* (Vol. 24, Issue 3, pp. 999–1008). Architectural Science Association and The University of Melbourne.
- Espíndola, L. da R. (2010). *Habitação de interesse social em madeira conforme os princípios de coordenação modular e conectividade* [Universidade Federal de Santa Catarina]. <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/93836>
- Garcia, K. R. P. (2014). *Potencial de reducción de las emisiones de CO2 y de la energía incorporada en la construcción de viviendas en Brasil mediante el incremento del uso de la madera*. Universidad Politécnica de Cataluña y Universidade de São Paulo Katia Regina Punhagui Garcia Potencial.
- Jabi, W. (2013). *Parametric design for architecture*. Laurence King Publishing.
- Karle, D., & Kelly, B. M. (2011). *Parametric Thinking*. 109–113.
- Kasanen, E., Lukka, K., & Siitonen, A. (1993). Journal of Management Accounting Research. *The Constructive Approach in Management Accounting Research*, 5, 243–264.
- Kilian, A. (2016). Foreword. In A. Menges, T. Schwinn, & O. D. Krieg (Eds.), *Advancing Wood Architecture: A Computational Approach* (1 edition, pp. XIX-- XXV). Routledge.
- Kolarevic, B. (2003). *Architecture in the Digital Age: Design and Manufacturing* (Edição: 1). Taylor & Francis Group.
- Kolarevic, B. (2000). Digital Architectures. *Eternity, Infinity and Virtuality in Architecture: Proceedings of the 22nd Annual Conference of the Association for Computer-Aided Design in Architecture*, 251–256. <https://cumincad.architexturez.net/doc/oai-cumincadworks-id-dcb9>
- Laroca, C. C. (2002). *Habitação social em madeira: Uma alternativa viável* [Universidade Federal do Paraná]. http://www.floresta.ufpr.br/defesas/pdf_ms/2002/d356_0499-M.pdf
- Mateus, R. (2004). *Novas tecnologias construtivas com vista à sustentabilidade da construção* [Universidade do Minho - Portugal]. <http://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/817>
- Meirelles, C. R. M., Dinis, H., Segall, M. L., & Sant'Anna, S. S. de. (2007). Considerações sobre o uso da madeira no Brasil em construções habitacionais. *Anais Eletrônicos*. mackenzie.com.br/fileadmin/Graduacao/FAU/Publicacoes/PDF_IIIForum_a/MACK_III_FORUM_CELIA_REGINA.pdf
- Mello, L. R., & Bittencourt, R. M. (2009). *Projetar em Madeira. Projetar - Projeto Como Investigação: Ensino, Pesquisa e Prática*. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, 4.
- Menges, A., Schwinn, T., & Krieg, O. D. (2016). *Advancing Wood Architecture: A Computational Approach* (A. Menges, T. Schwinn, & O. D. Krieg (eds.); 1 edition). Routledge.
- Oxman, R. (2006). Theory and design in the first digital age. *Design Studies*, 27(3), 229–265. <https://doi.org/10.1016/j.destud.2005.11.002>
- Rosso, T. (1976). *Teoria e prática da coordenação modular* (FAU USP). FAU USP.

- Rosso, T. (1980). *Racionalização da construção*. FAU USP.
- Sass, L. (2007). Synthesis of design production with integrated digital fabrication. *Automation in Construction*, 16(3), 298–310. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2006.06.002>
- Sass, L., & Botha, M. (2006). The Instant House: A Model of Design Production with Digital Fabrication. *International Journal of Architectural Computing*, 4(4), 109–123. <https://doi.org/10.1260/147807706779399015>
- Savalli, R. (2013). *Análise da energia e do dióxido de carbono embutidos nos materiais de construção utilizados em três sistemas construtivos, na fase pré-operacional do ciclo de vida da edificação*. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.
- Sofia, C., & Blair, G. (2019). Housing prototypes, timber tectonic culture and the digital age. *Lecture Notes in Civil Engineering*, 24, 911–935. https://doi.org/10.1007/978-3-030-03676-8_37
- Sykes, A. K. (2013). *O Campo Ampliado da Arquitetura* (Edição: 1ª). Cosac & Naify.
- Universidade Estadual de Londrina - UEL. (2008, December). *Agência UEL de Notícias* - Universidade Estadual de Londrina. http://www.uel.br/com/agenciaueldenoticias/index.php?arq=ARQ_not&FWS_Ano_Edicao=1&FWS_N_Edicao=1&FWS_N_Texto=6811
- WikiHouse. (2020). *WikiHouse*. <https://www.wikihouse.cc/Resources>
- ZANI, A. C. (2013). *Arquitetura em madeira*. Eduel. [uel.br/editora/portal/pages/arquivos/arquitetura em madeira_digital.pdf](http://www.uel.br/editora/portal/pages/arquivos/arquitetura%20em%20madeira_digital.pdf)
- ZENID, G. J. (2009). *Madeira: uso sustentável na construção civil* (2nd ed.). IPT. http://www.ipt.br/centros_tecnologicos/CT-FLORESTA/livros/3-madeira:_uso_sustentavel_na_construcao_civil.htm