



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

Optimization of a constructive system of subtractive digital fabrication: Prototypes and tests os fitting system

Eduardo Luisi Paixão Silva Campolongo

Universidade Presbiteriana Mackenzie | Brazil | eduardocampolongo@hotmail.com

Charles C. Vincent

Universidade Presbiteriana Mackenzie | Brazil | charles.vincent@mackenzie.br

Abstract

Aiming the application of digital fabrication in the production of architectural structures, the experiment described in this work focuses on the constructive system in wood from connections machined in a CNC Router. We aim to reduce costs, machining time, weight and reach structural improvements in the system. This article describes the process of design, fabrication and structural tests adapting the open source constructive system of subtractive digital manufacturing (wikihouse).

Keywords: Wikihouse; Digital fabrication; Wood joints; Experimentation; CNC router.

ANTECEDENTES

O grupo de pesquisa TPED - Teoria e Projeto na Era Digital participou em parceria com outras instituições de uma série de estudos sobre a utilização das Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC), na produção de habitações de interesse social, com foco no Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV).

Um primeiro modelo em escala real nos mostrou dificuldades que não imaginávamos, e quem vem sendo sanadas aos poucos em pesquisas paralelas. Entre essas dificuldades, as conexões (*wood joints*) dos componentes usinados digitalmente que estávamos utilizando se mostraram frágeis para a escala de construção que almejamos.

Assim, o grupo de pesquisa dedicou parte de seus esforços na identificação e solução de novas conexões. Para testar sua implementação, foi criado um segundo modelo estrutural inspirado no sistema *wikihouse*, usinado e montado na Universidade Presbiteriana Mackenzie.

Este segundo modelo testado, nos proporcionou um entendimento melhor sobre o comportamento da estrutura e as melhorias desenvolvidas se apresentaram mais eficazes.

Com isso o trabalho continuou a ser desenvolvido, o que nos levou a tentar otimizar a produção do sistema, estudando novos encaixes e espessuras de materiais diferentes.

INTRODUÇÃO

Em estudos prévios, constataram-se algumas dificuldades no projeto e execução de construções *wiki*. Assim, temos como objetivo a obtenção de melhorias e adaptações do sistema de fabricação para a realidade brasileira, onde o estudo está localizado.

Estas experimentações visam a produção de encaixes de componentes de pórticos em OSB, usinados em uma fresadora.

A proposta é fruto de uma pesquisa que vem sendo desenvolvida acerca da viabilidade da construção de habitações de interesse social (HIS) no Brasil utilizando como sistema construtivo o sistema "*WikiHouse*".

O sistema Wikihouse é descrito como "[...] *an open source project to reinvent the way we make homes. It is being developed by architects, designers, engineers, inventors, manufacturers and builders, collaborating to develop the best, simplest, most sustainable, high-performance building technologies, which anyone can use and improve.*" (*wikihouse.cc*. Acesso em 04 de setembro de 2017)

Tendo em vista que a pesquisa tem como intuito auxiliar a população de baixa renda, aponta-se como hipótese para a melhoria desse sistema a utilização de novas tecnologias, ainda pouco exploradas na área de construção civil no Brasil, como a utilização de fabricação digital para a elaboração de projetos funcionais para programas sociais do governo que atendam à necessidade de moradia de famílias.

Para a realização desses estudos será utilizada uma metodologia prático científica, com o intuito de analisar o sistema de encaixes utilizado em experimentações prévias e adaptar o projeto para redução de tempo de usinagem, economia de materiais, maior facilidade na montagem e menor peso da estrutura.

O processo e estudo estão a se desenvolver em quatro etapas: O desenvolvimento de um código paramétrico; Prototipagem em escala dos encaixes selecionados para o estudo de ajustes de estoque e geometria; Prototipagem dos encaixes em escala real; Ensaios de esforço nas peças.

Esse experimento faz parte de uma pesquisa de mestrado, que pretende a partir deste e outros experimentos avaliar a viabilidade de utilização de fabricação digital como método de construção civil no Brasil.

EXPERIMENTOS ANTERIORES

Esta pesquisa tem se desenvolvido com o intuito de se estudar a viabilidade do sistema construtivo a partir de fabricação digital subtrativa, por meio de encaixes, baseada no sistema construtivo *Wikihouse*.

Em 2015 o grupo de pesquisa TPED, com apoio financeiro da Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP), desenvolveu uma estrutura em pórticos usinados em uma fresadora CNC, baseada no sistema *Wikihouse*, que se integra a uma pesquisa mais ampla que busca verificar a viabilidade de implementação de um sistema de fabricação digital na produção de habitação de interesse social no Brasil, nomeadamente, no programa do Governo Federal PMCMV (Nardelli, 2016).

Assim, essa primeira estrutura demonstrou fragilidades ao ser montada, principalmente em relação aos encaixes propostos pelo sistema *wikihouse*. *Questionamos* quais melhorias ao sistema deveriam ser levadas em consideração.

Em 2016 demos continuidade ao projeto, tendo como objetivo as melhorias das fragilidades demonstradas no primeiro experimento. Para isso propusemos um novo sistema de encaixes que foram testados na segunda estrutura produzida.

A escolha dessa nova forma de encaixe se baseia no sistema proposto pela *wikihouse*, denominado *S-joint*, porém com algumas alterações. O sistema é constituído por dois trapézios travados por meio de cunhas, aumentando a área de contato da junção, diferenciando-se do sistema proposto que se constitui por ângulos retos.



Figura 1: Encaixe trapezoidal. Fonte: Autores.

Observamos que os novos encaixes propostos, reduziram o tempo de usinagem, em relação ao primeiro experimento e aumentaram a rigidez no ponto de maior vulnerabilidade da estrutura.

Essa segunda experimentação provou que o material, no caso o OSB, pode ser usado para a construção do sistema. A partir de melhorias nos encaixes a estrutura se mostrou resistente, e duradoura em relação à primeira experimentação.



Figura 2: Experimento 2 - pórtico em escala real. Fonte: Autores.

Esses dois primeiros experimentos, servem de base para o estudo que será apresentado ao longo deste artigo, utilizando os aprendizados obtidos anteriormente e propondo melhorias ao sistema, comprovando a partir de testes estruturais.

EXPERIMENTO PROJETO

O experimento busca melhorias no sistema já estudado anteriormente, com o intuito de otimizar a sua produção. Para isso parte-se do princípio de analisar e comparar a relação entre a espessura da chapa de OSB, com a sua eficiência estrutural.

Para conseguir realizar o estudo comparativo, utilizaremos como pontos de análise os seguintes critérios: Tempo de usinagem; Dificuldade de montagem; Quantidade de material utilizado; Peso; Custo; Resistência mecânica.

Para escolha dos segmentos a serem testados, simulamos os deslocamentos usando o software *Scan&Solve*. Simulou-se a aplicação de carga através de cutelo, a velocidade constante, segundo métodos descritos em VILLELA (2015).

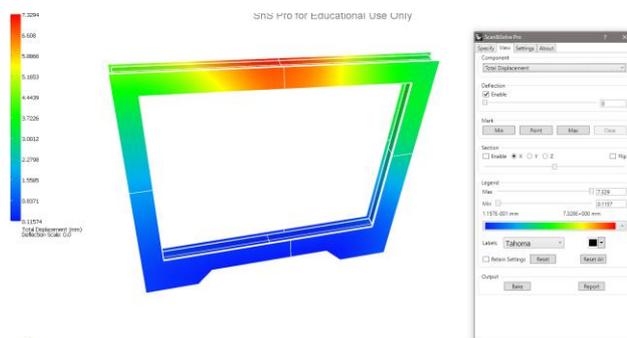


Figura 3: Ensaio de flexão estática - *Scan&Solve Pro*. Fonte: Autores.

A partir dos testes já mencionados e da proposta do sistema construtivo que vem sendo utilizado como base (painéis de 18mm), estudou-se o comportamento em chapas do mesmo material com 9mm de espessura, o que não foi possível fazer em testes anteriores.

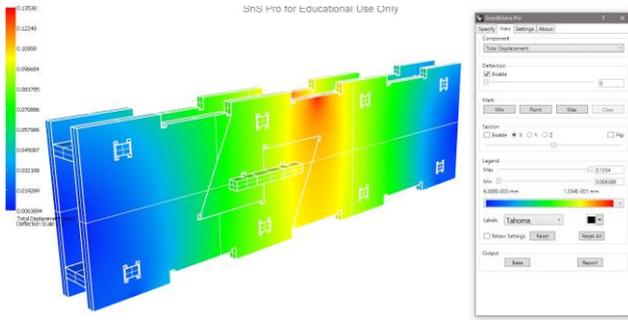


Figura 4: Ensaio de flexão estática - 1000N - Scan&Solve Pro. Fonte: Autores.

Além da redução na espessura da chapa, foi proposta uma adaptação ao sistema original, diminuindo a quantidade de cortes a serem usinados e o material utilizado para a produção dos pórticos.

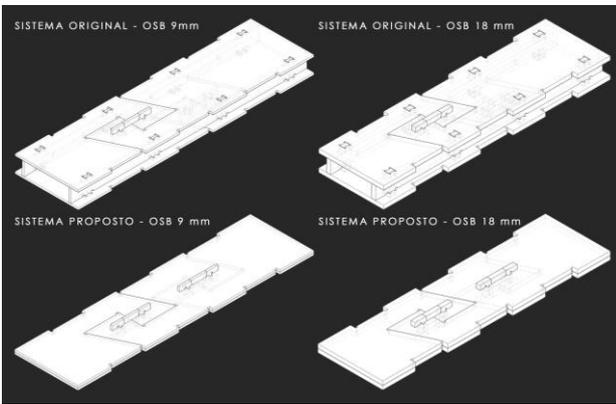


Figura 5: Esquema dos sistemas utilizados na experimentação. Fonte: Autores.

No sistema proposto a junção entre as chapas se mantém de forma trapezoidal, porém as terças foram removidas diminuindo as furações na chapa e o corte das peças de

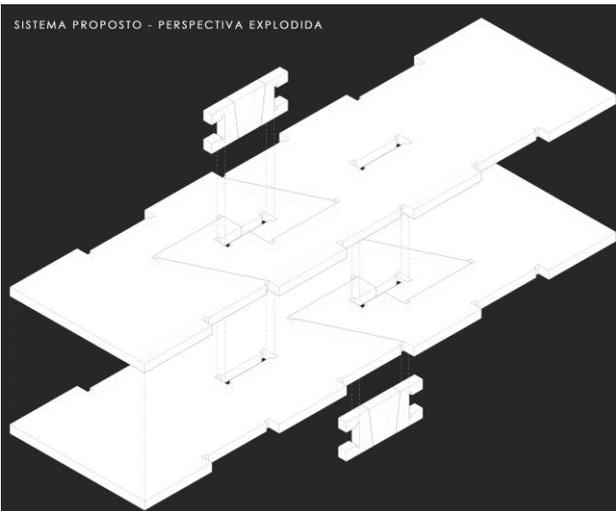


Figura 6: Perspectiva explodida. Fonte: Autores.

ligação. As duas chapas são ligadas por meio de cunhas.

O sistema original é composto por duas chapas interligadas utilizando sistema trapezoidal e presas por meio de uma cunha, posteriormente colocamos duas

terças na vertical ligando mais duas chapas, como observamos na perspectiva a seguir.

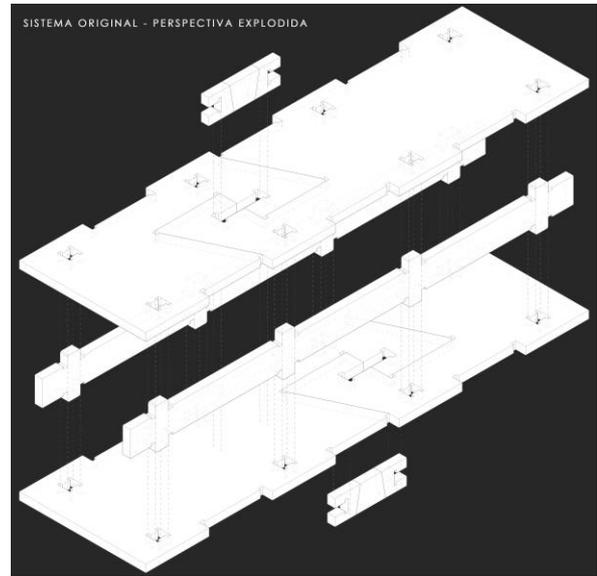


Figura 7: Perspectiva explodida. Fonte: Autores.

Podemos observar que nas duas opções as ligações entre as chapas não estão alinhadas, o que é essencial para a rigidez da estrutura com relação aos esforços laterais no sistema.

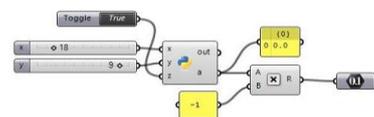
CÓDIGO PARAMÉTRICO

Por se tratar de uma experimentação de um sistema construtivo baseado no método de fabricação digital subtrativa por meio de encaixes em madeira, há uma série de ajustes a serem feitos para garantir uma junção perfeita, o mais importante é o stock. Trata-se de quanto material será retirado ou deixado em relação a linha de desenho.

Além disso o sistema é totalmente modular, os encaixes estão sempre equidistantes, as ligações entre os planos respeitam as mesmas regras, o que nos levou à realização de um código paramétrico, utilizando a ferramenta Grasshopper3d para o Rhinoceros, que possibilita de forma mais automática a alteração dessas variáveis de projeto.

O código está baseado em duas variáveis principais: Espessura do painel; Controle de stock. como veremos a seguir:

**ESPESSURA DO PAINEL
VERDADEIRO = 18 mm
FALSO = 9 mm**



**CONTROLE
DE STOCK**



Figura 8: Variáveis do código. Fonte: Autores.

O código foi montado a fim de possibilitar uma redução de tempo ao realizar alterações nos dois parâmetros estipulados. Ao alterar o valor da chapa a ser utilizada, automaticamente os encaixes se alteram, assim permitindo a utilização de outras espessuras de material.

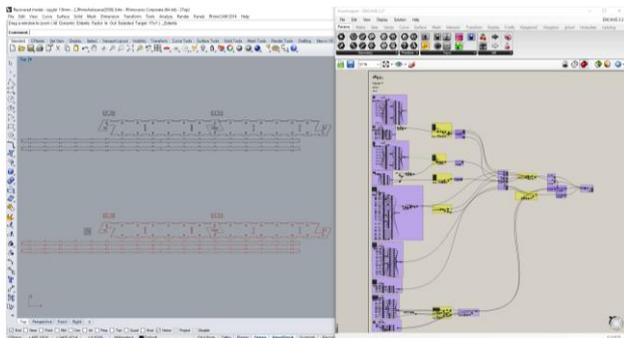


Figura 9: Geração das peças a partir do código. Fonte: Autores.

Todas as peças que foram desenvolvidas, partiram da utilização desta programação a fim de possibilitar a geração das plantas de corte.

PROTOTIPAGEM EM ESCALA REDUZIDA

Após todo o desenvolvimento do projeto, seguimos para a segunda etapa: a prototipagem e a fabricação das peças. A prototipagem foi realizada em escala reduzida 1:3, onde o OSB de 9mm foi representado pelo MDF de 3mm e o OSB de 18mm pelo MDF 6mm.

Esta etapa da experimentação possibilitou testar e realizar as alterações necessárias no código descrito acima, a fim de posteriormente ser possível a fabricação das peças em escala real.

Para realização dos estudos em escala foi utilizada uma cortadora a laser, com área de corte de 800x600 milímetros, no campus da universidade.

Para dar início aos cortes realizamos o teste de *stock*, permitindo que as conexões sejam efetivas, considerando uma folga que facilitasse a montagem e ao mesmo tempo que não eliminasse o contato necessário entre elas, o que comprometeria seu desempenho estrutural. O teste variou de -0.5 a 0.5mm.

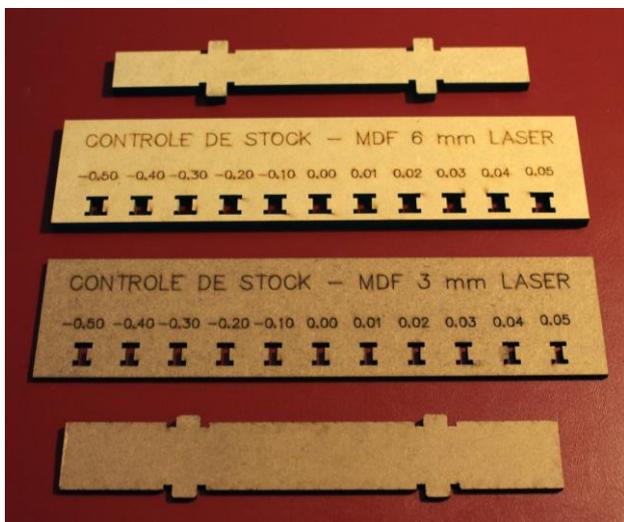


Figura 10: Teste de *Stock* realizado na cortadora a laser. Fonte: Autores.

Após a confirmação do stock a ser utilizado, no caso, 0.4mm para chapas de 3mm e 0.3mm para as chapas de 6mm, foram geradas a partir desse código as plantas de corte para as duas opções de estudo.

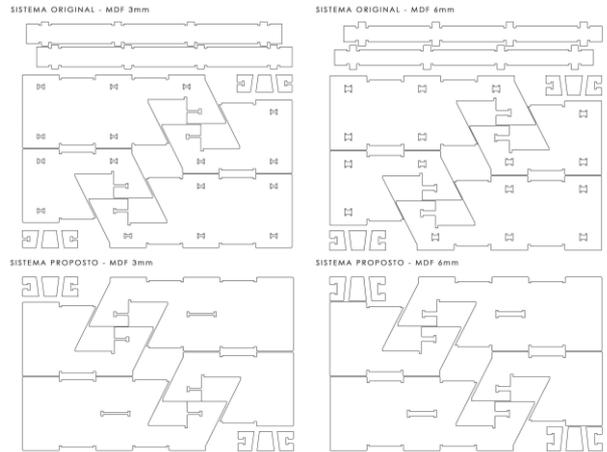


Figura 11: Plantas de corte. Fonte: Autores.

Para esse teste foram utilizadas 3 chapas de MDF 6mm, dimensões de 800x400 milímetros, e 3 chapas de MDF 3mm com as mesmas dimensões

O corte das peças correu como previsto, ajudando a resolver alguns ajustes no código proposto para geração das peças finais, e também possibilitou um melhor entendimento sobre como seria realizada a montagem das peças.

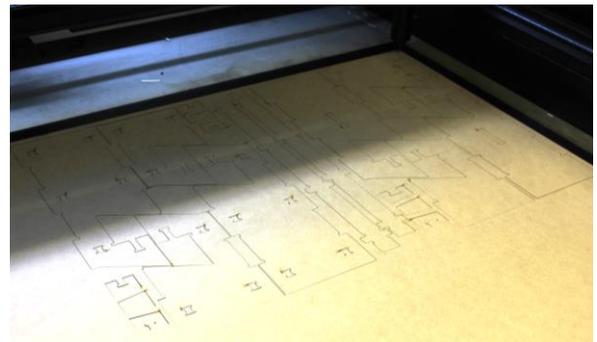


Figura 12: Chapa de MDF 6 mm cortada a laser. Fonte: Autores.

Os experimentos geraram um modelo de cada protótipo desenvolvido em escala, comprovando assim o sistema de projeto a partir de um código paramétrico.

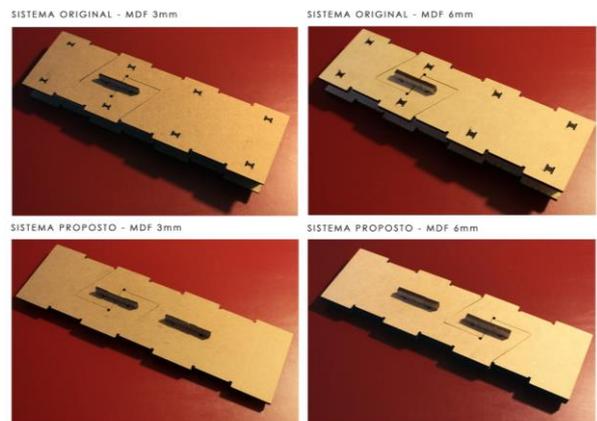


Figura 13: Peças em escala 1:3 cortadas a laser. Fonte: Autores.

PRODUÇÃO EM ESCALA REAL

Dando segmento à pesquisa iniciamos a produção das peças em escala real, tendo como base as melhorias realizadas ao se desenvolver os protótipos em escala.

A produção das peças em escala real tem como objetivo a realização de testes de resistência mecânica, sobre cada um dos tipos propostos e espessuras de material a serem estudados. Para isso precisamos de 3 peças de cada tipo como mencionado anteriormente, duas para testes e uma para servir de referência.

Na realização dos experimentos foi utilizada uma fresadora de grande formato, fresas de 6mm e de 3mm, 9 chapas de OSB de 18mm com dimensões de 1.20x0.80m e 9 chapas de OSB 9mm com as mesmas dimensões, gerando as peças necessárias para o experimento proposto.



Figura 14: Chapa de OSB 18mm sendo usinada. Fonte: Autores.

Para dar início ao processo de usinagem, foi realizado o teste de controle de *stock*. Foram usinadas duas peças variando de -0.4 a 0.4, uma para cada espessura de material, na qual foi possível encontrar a melhor relação entre os encaixes e a espessura utilizada.



Figura 15: Peças de OSB usinadas para controle de stock. Fonte: Autores.

Após a definição de quanto se daria de *stock*, passamos para a etapa de geração dos códigos de usinagem, a partir do software RhinoCAM, foi possível passar o desenho para a máquina e assim começamos a produção.

O processo de usinagem se desenvolve em duas etapas, a confecção dos encaixes menores, e os cortes. A máquina utilizada, não conta com uma mesa com vácuo, portanto não é possível o corte de peças muito pequenas, com isso utilizamos uma ferramenta denominada *pocketing*, que consiste na total remoção do material

usinado, uma vez que a liberação de peças pequenas frequentemente travava o funcionamento da fresa.

A usinagem das 18 chapas durou em torno de 20 horas, levando em consideração remoção e colocação das chapas, ajustes nos códigos de usinagem, troca de fresas e manutenção.

Como já esperado o tempo médio de usinagem de cada chapa de 9mm, foi inferior à de 18mm. A média de tempo em relação à chapa mais fina foi de 29 minutos e a mais grossa de 42 minutos.

Após a usinagem, veio o processo de lixar as peças retirando assim as rebarbas deixadas pela máquina. Posteriormente montamos cada sistema conectando as peças.



Figura 16: Montagem do sistema original com OSB de 18mm. Fonte: Autores.

Sendo assim o processo de produção em escala real gerou 12 peças sendo 3 de cada sistema, possibilitando assim os testes que serão descritos a seguir.

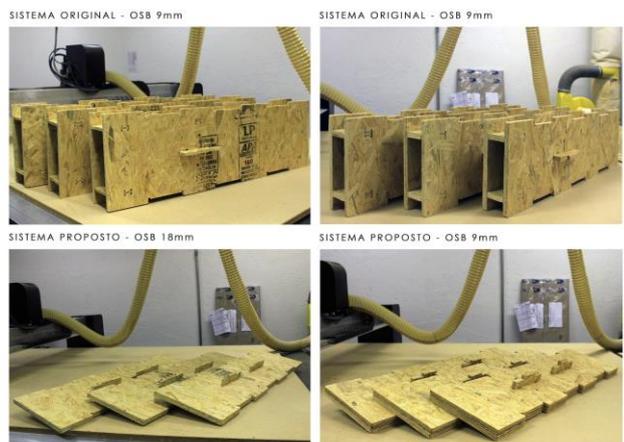


Figura 17: Corpos de prova em escala real usinados. Fonte: Autores.

TESTES DE RESISTÊNCIA MECÂNICA

A construção das peças em escala real, possibilitou a execução dos testes de resistência mecânica do projeto que vem sendo estudado ao longo do artigo. Para isso contamos com o auxílio da escola de engenharia, que norteou como seriam realizados os testes tendo validade acadêmica.

Após alguns encontros resolvemos que seriam feitos dois tipos de teste diferentes com relação a estrutura. No

primeiro trabalhamos o sistema como vigas, sendo assim realizando testes de flexão. No segundo teste trabalhamos como pilares, elaborando o teste de compressão axial.

DIAGRAMA TESTE DE RUPTURA NA ESTRUTURA

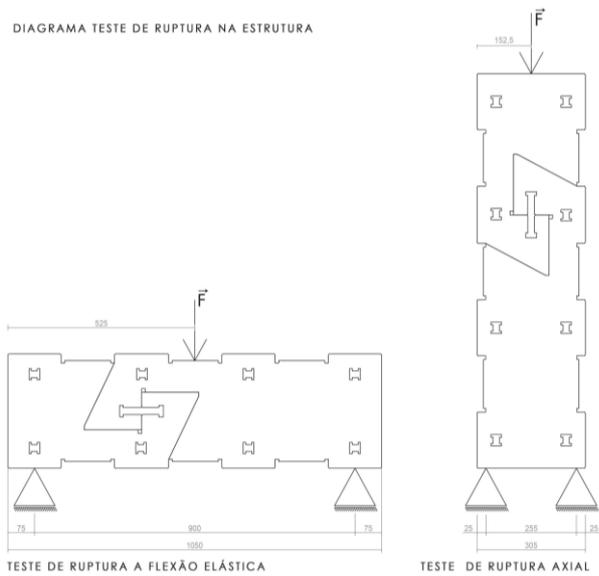


Figura 18: Diagrama da execução dos testes de ruptura. Fonte: Autores.

Para a execução dos testes foram elaborados três corpos de prova para cada experimento, um deles utilizado para o teste de flexão, um para o teste de compressão axial e o último servindo de referência comparativa.

Primeiramente foram realizados os estudos de flexão sob compressão, levando a estrutura sempre até a sua total ruptura, para que seja possível o entendimento de qual a quantidade de carga cada sistema aguenta e como se relacionam entre si.



Figura 19: Peça de 18mm antes do ensaio de flexão elástica. Fonte: Autores.



Figura 20: Peça de 18mm após ensaio de flexão estática. Fonte: Autores.

Os experimentos demonstraram os seguintes resultados: O sistema original em 18mm suportou em carga de 1310 newtons, utilizando 9mm a carga suportada caiu para 930 newtons. O sistema proposto em 18mm suportou 1230 newtons e o de 9mm 590 newtons.

Após esta primeira bateria de testes, prosseguimos com os experimentos em relação à compressão axial. Foram feitos os ajustes necessários no equipamento para a possibilidade de posicionamento da peça na máquina.

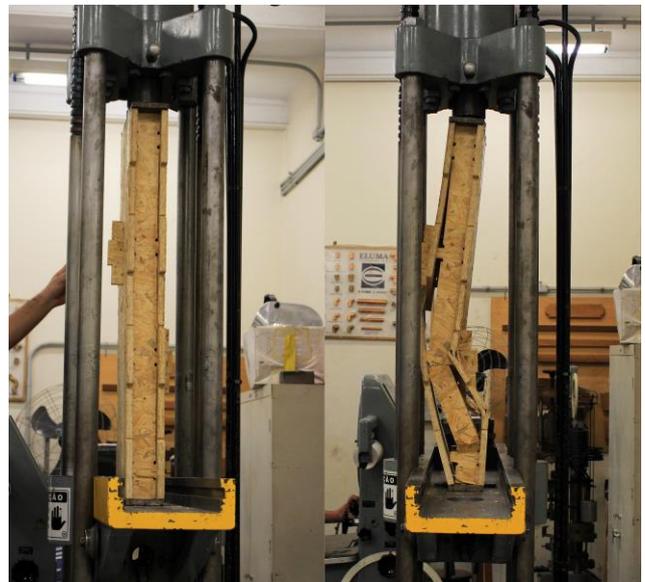


Figura 21: Peça de 18mm antes e depois do teste de compressão axial. Fonte: Autores.

Os resultados obtidos nesses testes foram mais significativos do que os anteriores, o sistema original de 18mm suportou uma carga de 5240 newtons, já a de 9mm suportou 2440 newtons. O sistema proposto na opção de 18mm aguentou 780 newtons já o de 9mm suportou apenas 80 newtons.

Estes experimentos nos permitiram entender como os encaixes em relação ao material utilizado e às espessuras de chapa trabalham aos esforços aplicados aos sistemas, e possibilita realizarmos a comparação mais exata em relação a qual sistema é mais vantajoso para ser aplicado à estrutura em pórticos do sistema construtivo *wikihouse*.



Figura 22: Comparação dos ensaios de flexão estática. Fonte: Autores.



Figura 23: Comparação testes de compressão axial. Fonte: Autores.

ANÁLISE DE DADOS

A partir dos experimentos práticos que realizamos, foi possível recolhermos dados para que possamos fazer a comparação entre os sistemas estudados, com o intuito de obter melhorias ao sistema construtivo a partir de fabricação digital subtrativa.

Como já mencionado para a comparação dos sistemas serão utilizados os seguintes parâmetros: Tempo de usinagem; Quantidade de material utilizado; Peso; Custo; Resistência mecânica.

Começaremos analisando o tempo de usinagem. Como já esperado o tempo médio de usinagem da cada chapa de 9mm, foi inferior a chapa de 18mm. A média de duração do corte das chapas mais finas foi de 26 minutos enquanto as chapas mais grossas demoraram cerca de 39 minutos, tendo um ganho de 33%, porém diferentemente do

previsto a modificação no projeto não gerou grandes melhorias em relação ao tempo de usinagem principalmente na espessura de 9mm, gerando apenas uma melhoria de 14%, já na chapa de 18mm a vantagem aumentou para 27%, como podemos observar na tabela a seguir.

Tabela 1: Tempo de usinagem entre cada sistema.

Sistema	Espessura	Tempo de Usinagem
Sistema Original	18mm	43 minutos
Sistema Original	09mm	28 minutos
Sistema Proposto	18mm	35 minutos
Sistema Proposto	09mm	24 minutos

Quando realizamos a comparação com base na quantidade de material utilizado, vamos analisar apenas os sistemas. A relação entre o sistema original e o proposto, tivemos um maior aproveitamento de material. esta relação esteve em torno de 20%.

Tabela 2: Quantidade de material utilizado.

Sistema	Metragem quadrada
Sistema Original	0.75 m ²
Sistema Proposto	0.60 m ²

Para realizarmos a comparação do peso da estrutura, usamos com padrão o metro quadrado, para facilitar o cálculo em cada sistema. Sendo assim a chapa de 18mm tem peso específico de 11.70 kg/m², enquanto a de 9mm possui 6.07kg/m². com esta base a estrutura se utilizando a chapa de 9mm resultaria em uma redução de 50% no peso total da estrutura.

Tabela 3: Peso.

Espessura da chapa	Peso por chapa	Peso por m ²
18mm	33.7 kg	11.70 kg/m ²
9mm	17.5 kg	6.07 kg/m ²

A análise do custo foi feita da mesma forma que o peso da em relação a metragem quadrada, a relação entre a chapa de 18mm com a de 9mm possui uma diminuição significativa de custo final, em torno de 40%.

Tabela 4: Custo.

Espessura da chapa	Custo por chapa	Custo por m ²
18mm	108,90 R\$	22,88 R\$
9mm	65,90 R\$	37,81 R\$

Com relação aos testes de flexão estática podemos observar que os experimentos demonstraram resultados muito próximos em relação a sistemas diferentes, porém de mesma espessura. Utilizando a chapa de 18 mm a relação entre a opção original e a proposta foi de 7% um a diferença muito pequena. em relação a chapa de 9mm, a diferença está em torno de 36%.

A relação entre os testes do mesmo sistema, porém com espessuras de chapa diferentes, tivemos resultados um pouco mais significativos. O sistema original em 18mm em relação ao de 9mm resultou em uma perda de 30%, já o sistema proposto teve uma perda significativa em relação à espessura mais fina chegando a 53%, como veremos na tabela a seguir:

Tabela 5: Resultados do ensaio de Flexão Estática.

Sistema	Espessura	Carga de ruptura
Sistema Original	18mm	1310 newtons
Sistema Original	09mm	930 newtons
Sistema Proposto	18mm	1230 newtons
Sistema Proposto	09mm	590 newtons

Nos testes de compressão axial, diferentemente dos experimentos à flexão, nos mostraram uma enorme discrepância entre os sistemas. A partir do uso da mesma espessura de chapa, os resultados foram os seguintes: 18mm a relação entre os sistemas foi uma redução de suporte das cargas de 85%, enquanto a redução nas de 9mm, foi de 96%.

Porém a relação entre espessuras não foi tão discrepante. No sistema original a redução da espessura da chapa gerou uma perda de 53%, enquanto no sistema proposto a redução foi de 90%.

Tabela 6: Resultados da compressão axial.

Sistema	Espessura	Carga de ruptura
Sistema Original	18mm	5240 newtons
Sistema Original	09mm	2440 newtons
Sistema Proposto	18mm	780 newtons
Sistema Proposto	09mm	80 newtons

CONCLUSÕES

A partir dos experimentos realizados e da análise de cada um dos parâmetros estipulados como metodologia deste artigo, podemos comparar as hipóteses de melhorias no sistema construtivo estudado.

Ao desenvolver o sistema, onde não era necessário a utilização das terças, entendia-se que o mesmo apresentaria grande redução em relação a tempo de usinagem e quantidade de materiais, apesar de ser vantajosa, não apresentou as melhorias esperada, além de apresentar dificuldades em sua montagem e alinhamento entre as peças.

Posteriormente ao realizarmos os testes de compressão, percebemos de que ambos os sistemas se demonstraram muito equivalentes em relação aos esforços submetidos em compressão a flambagem. Entretanto ao trabalharmos com a compressão axial, o sistema proposto demonstrou uma diminuição significativa em relação ao sistema original, excluindo a utilização do mesmo para a construção de um pórtico.

O outro ponto a ser analisado foi a diminuição na espessura do material, sendo assim ao utilizar uma chapa com metade da espessura da anteriormente utilizada, as reduções nos parâmetros analisados, giraram em torno de 40% de reduções.

Além disso os testes de compressão demonstraram uma redução na carga suportada inferior às melhorias geradas nos outros parâmetros de análise, permitindo assim avaliar como possível a utilização da espessura de 9mm.

Estas experimentações abriram novas questões a serem estudadas, como novos testes de esforços a compressão com diferentes espessuras, trabalhando com somente uma face com os encaixes usinados, aumentando assim a rigidez da estrutura. Outra questão refere-se à posição dos encaixes na estrutura em pórtico que esperamos determinar com análises por elementos finitos.

AGRADECIMENTOS

Essa experimentação faz parte da primeira etapa das investigações de Pesquisa de Mestrado em desenvolvimento no PPGAU da Universidade Presbiteriana Mackenzie, com Bolsa CAPES PROSUC – Modalidade II.

Colaboraram no experimento o Eng. Prof. Dr. Alfonso Pappalardo Jr., da E.E. Mackenzie, Arq. Prof. Ms. Guilherme Michelin da FAU Mackenzie.

Agradecemos ainda à Escola de Engenharia Mackenzie, que colaborou na realização dos Ensaio de Ruptura.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7190/97: Projeto de Estruturas de Madeira. São Paulo - ABNT - 1997.
- BACKHEUSER, Luiz Alberto Fresl; CAMPOLONGO, Eduardo Luisi Paixão Silva; Experimentação prática de encaixes em fabricação digital subtrativa, p. 17-21. In.: São Paulo: Blucher, 2017. ISSN 2318-6968, DOI 10.5151/sigradi2017-004.
- KOLAREVIC, B. (Ed.). (2004). Architecture in the Digital Age: Design and Manufacturing. Taylor & Francis.
- NARDELLI, Eduardo Sampaio (2014) - Fabricação Digital na Produção de Habitação de Interesse Social no Brasil [Digital Fabrication in Social Housing Production in Brazil] SiGraDi 2014 [Proceedings of the 18th Conference of the Iberoamerican Society of Digital Graphics - ISBN: 978-9974-99-655-7] Uruguay - Montevideo 12 - 14 November 2014, pp. 350-353
- NARDELLI, E. S.; BACKHEUSER, L. A. F. Sistema Wikihouse aplicado ao Programa Minha Casa Minha Vida. In: XX Congresso de la Sociedad Iberoamericana de Gráfica Digital, SiGraDI: crowdthinking, 2016, Buenos Aires. XX Congreso de la Sociedad Iberoamericana de Gráfica Digital, SiGraDI: crowdthinking. São Paulo: Blucher, 2016. v. 1.
- 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.
- PRESTON, Clayton, (2017), Wikihouse Engineering Day: Reflecting on a day of open-source structures and digital workflows, IN <https://medium.com/wikihouse-stories/wikihouse-engineering-day-256e60d9ae5c> (acesso em 01/05/2018)
- Scan&Solve Pro 2017 for Rhinoceros 64 bits - Intact Solutions.
- VILLELA, Sabrina M., (2015), Determinação das Propriedades Mecânicas das Placas de OSB e do Comportamento da Ligação entre as Placas de OSB e o Reticulado de Aço do Sistema Light Steel Framing, Belo Horizonte, 2015: Escola de Engenharia da UFMG.