

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/336345901>

Modelos Qualitativos Didáticos e a Compreensão Intuitiva no Ensino de Estruturas.

Conference Paper · October 2019

CITATION

1

READS

176

3 authors:



Tales Lobosco

Federal University of Minas Gerais

36 PUBLICATIONS 23 CITATIONS

SEE PROFILE



Aline Maracahipe Rocha

Federal University of Minas Gerais

7 PUBLICATIONS 1 CITATION

SEE PROFILE



Débora Carvalho Câmara

Federal University of Minas Gerais

3 PUBLICATIONS 4 CITATIONS

SEE PROFILE

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



Avaliação das Manifestações Patológicas nas Igrejas dos Séculos XVII e XVIII da Região Metropolitana de Belo Horizonte [View project](#)



War Urbanism: Narratives from June 2013 - back and forth [View project](#)

Modelos Qualitativos Didáticos e a Compreensão Intuitiva no Ensino de Estruturas.

Tales Lobosco

Doutor em Arquitetura e Urbanismo; Professor na Universidade Federal de Minas Gerais.
lobosco@ufmg.br

Aline Maracahipe Rocha

Graduanda em Arquitetura e Urbanismo; Universidade Federal de Minas Gerais.
alinemaracahipe@gmail.com

Débora Carvalho Câmara

Graduanda em Arquitetura e Urbanismo; Universidade Federal de Minas Gerais.
d.carvalhocamara@outlook.com

Eixo: Tecnologias e sustentabilidade na produção da cidade sul-americana contemporânea

Introdução

As técnicas contemporâneas de engenharia são originárias de sua capacidade de aplicar o método científico em dois campos distintos, mas complementares, que se dedicam a observar analiticamente e criar hipóteses a respeito de como as coisas funcionam: a Teoria, através da avaliação matemática, e a Experimentação, utilizando protótipos e modelos físicos (WHITEHEAD, 2019).

Entretanto, o processo de projeto e concepção estrutural não deve ser pensado como uma disciplina isolada da experimentação arquitetônica, mas fruto de uma integração profunda entre estes campos, entretanto, para que isso possa ocorrer, é necessário que o projetista seja capaz de visualizar o comportamento de uma estrutura em cada situação e compreender a influência da forma em seu comportamento (HILSON, 1993; MARIO FRANCO, 1974).

Modelos didáticos são aplicados há muito tempo para transmitir os conceitos básicos da engenharia estrutural, desde a “improvisação” em sala de aula, com régua ou folhas de papel dobradas, para demonstrar a importância da forma e das dimensões em uma estrutura simples aos protótipos

construídos para este fim (LOBOSCO, 2017). Os primeiros registros na literatura de modelos aplicados com este propósito datam da década de 1930 (HARRIS; SABNIS, 1999), entretanto, esta abordagem ainda é pouco valorizada nas publicações da área, que se foca na avaliação dos aspectos técnicos, em detrimento dos conhecimentos qualitativos e intuitivos (OLIVEIRA, 2008).

Whitehead (2019) defende a abordagem alternativa para o design estrutural, entendendo o processo como uma atividade criativa, e, desta forma a maneira pela qual o entendimento das estruturas é ensinado deve se aproximar das utilizadas nos estúdios de design, nos quais a proposta de "pensar, fazer, quebrar + repetir", deve ser assumida como forma de encorajar os estudantes a uma postura mais criativa e avaliativa, colocando a experimentação no processo ativo de aprendizagem.

Essa linha de pensamento não ocorre sem precedentes na história do design estrutural, reconhecidos "experimentadores" como Frei Otto e Gaudi dedicaram grande parte do processo de design ao estudo do comportamento das estruturas através de modelos, pois, no final das contas, o importante não é a forma como testamos e avaliamos os projetos, mas que isso ocorra, e que aprendamos com estes esforços (WHITEHEAD, 2019).

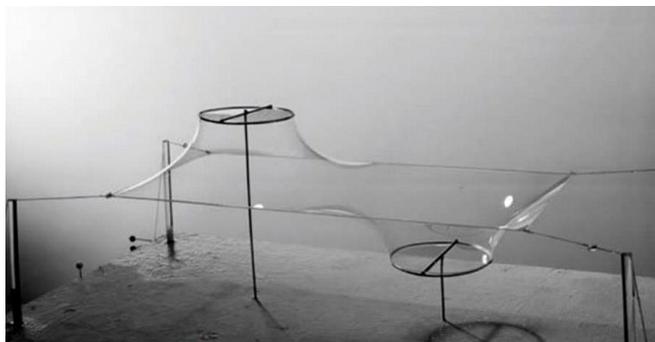


Figura 01: Estudos com bolhas de sabão para encontrar a geometria ideal de uma estrutura tensionada. **Fonte:** OTTO, 1961 apud WHITEHEAD, 2019.

A preocupação básica do projeto estrutural é determinar se uma estrutura é suficientemente resistente, suficientemente rígida, estável, econômica e coerente. Entretanto o atendimento a estes requisitos, principalmente se estamos pensando em uma integração efetiva entre arquitetura e estrutura, passa pela necessidade incontornável de entender as consequências que as escolhas de projeto trazem para o conjunto estrutural (WHITEHEAD, 2019).

Um dos paradoxos do aprendizado sobre estruturas é que os projetistas iniciantes são frequentemente hesitantes em se lançar ativamente ao projeto, por medo de estar errado. Mas se

excluir do esforço ativo de projeto e avaliação significa não aprender nada. Falhar significa ter um útil *feedback* de projeto (WHITEHEAD, 2019). Assim, acreditamos que mais do que a simulação numérica estrutural, é a experiência das experimentações diretas e intuitivas, em escala reduzida ou real, que permite a construção de um universo referencial, de comportamentos e soluções. Assim, os modelos didáticos em escala reduzida se mostram como ferramentas essenciais no processo de aprendizagem por desenvolverem um sentimento intuitivo do comportamento estrutural, facilitando a correlação entre o fenômeno mecânico experimentado no modelo e o desenvolvimento da concepção estrutural através dos modelos numérico-computacionais. (LOBOSCO; CÂMARA, 2018).

Objetivos

Modelos físicos podem ser formas menos exatas de medir a rigidez e a resistência de estruturas do que o cálculo matemático, mas eles são ferramentas muito úteis quando se deseja compreender a estabilidade estrutural, pois permitem uma gama muito mais ampla de *feedback* e, possuem a possibilidade de trabalhar em conjunção com a experimentação arquitetônica (WHITEHEAD, 2019).

Assim, este trabalho se dedica a documentação do processo de desenvolvimento de um modelo qualitativo, simples e de baixo custo, que permita a compreensão e exploração estrutural por estudantes de arquitetura e engenharia. O registro e análise crítica busca apresentar a concepção do modelo desde as ideias iniciais, a materialização das primeiras montagens, a concretização dos primeiros modelos, os passos evolutivos que foram incorporados a cada etapa e finalmente às experimentações de avaliação de cada protótipo desenvolvido.

As diretrizes que pautaram o desenvolvimento do modelo foram a produção de um conjunto simples, de baixo custo e que fosse capaz de promover uma compreensão intuitiva do comportamento mecânico das estruturas e que também possua boa flexibilidade de montagens para permitir a exploração de diversas possibilidades estruturais.

Este modelo final proposto não deve buscar exprimir uma tradução direta do comportamento da estrutura em escala, tampouco um comportamento preciso e realístico, mas promover a ênfase na visualização clara e intuitiva das deformações provocadas pelos esforços a que uma estrutura é submetida. Ou seja, precisa permitir a visualização e a compreensão da atuação dos esforços e do comportamento mecânico das estruturas reagindo a eles (LOBOSCO; CÂMARA, 2018).

Desenvolvimento do Modelo: primeiras propostas

Os primeiros croquis partiram da tradução dos esforços principais em um conjunto que pudesse definir com clareza a atuação de cada elemento. A relação tração-compressão se mostraria claramente exemplificada pela oposição entre elásticos e placas rígidas, formando uma estrutura que se assemelha bastante à composição concreto-aço das vigas tradicionais.

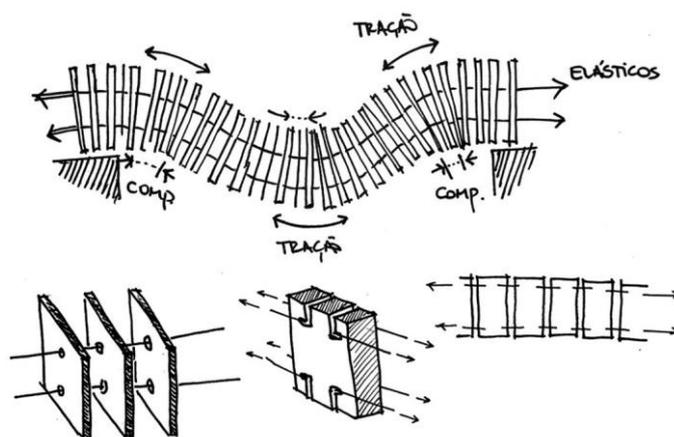


Figura 02: Primeiros croquis do modelo proposto. **Fonte:** LOBOSCO; CÂMARA, 2018.

Entretanto, apesar desta solução se mostrar bastante coerente, não buscávamos mimetizar a construção dos elementos e essa conformação dificultava a flexibilidade do modelo, de modo que os croquis seguintes já traziam a oposição tração-compressão em peças isoladas, com os elásticos unindo as peças rígidas sem configurar um elemento contínuo (Figura 02). Esta composição se mostrou bastante promissora e foi adotada como elemento base do conjunto, permanecendo de certa forma presente até as últimas montagens.



Figura 03: Primeiro protótipo em EVA. **Fonte:** LOBOSCO; CÂMARA, 2018.

Como a sequência de peças rígidas transmitiria a ideia de tração pelo afastamento entre elas e a compressão pela justaposição, entendemos que seria mais interessante se os efeitos de compressão pudessem ser efetivamente visualizados, nas suas diferentes intensidades, o que não seria possível nesta primeira proposta. Assim, construímos um primeiro protótipo em EVA e elásticos (Figura 03).

Entretanto as peças em EVA não se comportavam de maneira estruturada e as montagens ficaram bastante difíceis de serem executadas, de modo que o primeiro conjunto foi executado em peças de MDF cortados à laser e unidos por elásticos ortodônticos, que possuem diversas dimensões e resistências, facilitando as diferentes montagens e experimentações.

O conjunto era composto por um grupo de peças para serem conectadas linearmente e outro, que permitia a conexão das peças através de elásticos fixados em dois sentidos, mas possuíam a montagem bem mais complexa (Figura 04). Outras peças também foram testadas, mas acabaram sendo descartadas por terem a montagem mais complexa e por seu comportamento não se mostrar adequado à visualização dos fenômenos.

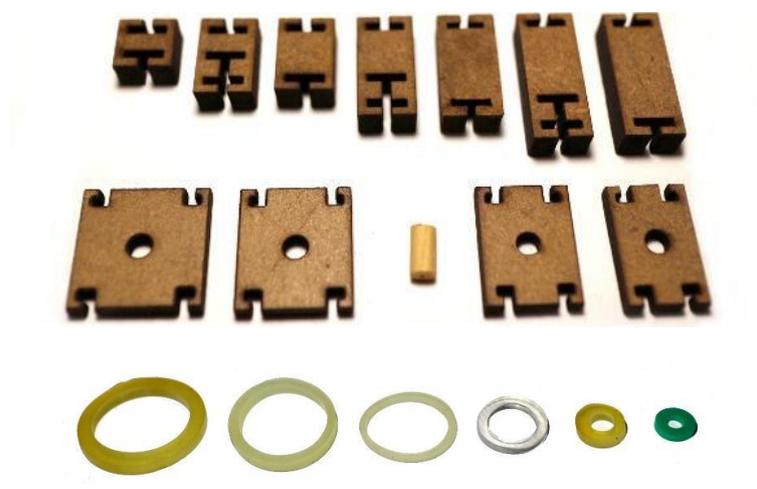


Figura 04: Primeiro conjunto de peças em MDF. **Fonte:** LOBOSCO, 2017.

As peças de conexão linear permitiram realizar as primeiras montagens lineares contínuas e, embora fossemos capazes de construir apenas de peças isoladas, não sendo possível articular conjuntos mais complexos, as experimentações estruturais desenvolvidas se mostraram bastante promissoras (Figura 05).

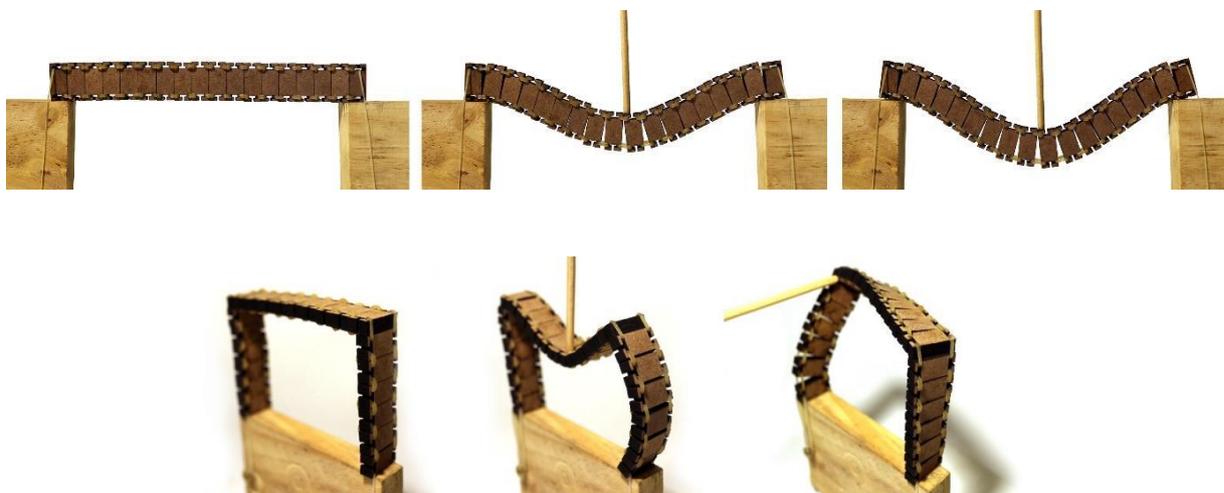


Figura 05: Primeiras montagens com o conjunto de peças em MDF. **Fonte:** LOBOSCO, 2017.

A partir do conjunto de peças com conexões com elásticos fixados nos dois sentidos conseguimos montar algumas vigas que não apresentaram um comportamento muito claro por causa do tamanho das peças, mas ele se mostrou muito propício à montagem de planos simulando o comportamento de lajes (Figura 06).

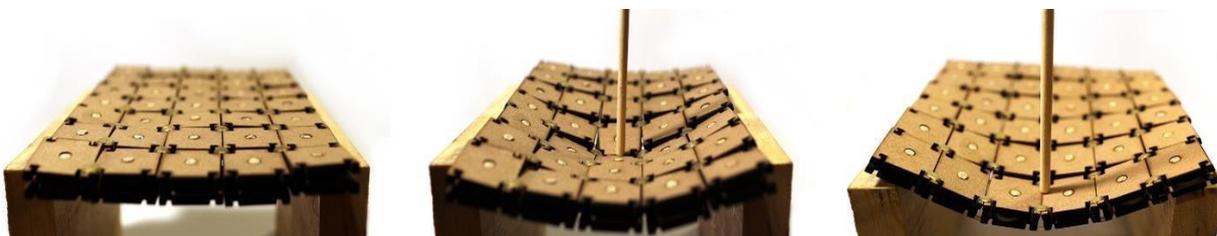


Figura 06: Primeiras montagens com o conjunto de peças com elásticos independentes nos dois sentidos, gerando planos flexíveis. **Fonte:** LOBOSCO, 2017.

Desenvolvimento do Modelo: propostas intermediárias

Para dar continuidade aos protótipos iniciais, que se mostraram bastante promissores, foram realizados diversos estudos buscando a possibilidade de visualizar as regiões submetidas à compressão e também a construção de um conjunto com maior flexibilidade, que permitisse montagens e ajustes diversos. O objetivo era conseguir realizar montagens mais complexas, com bases, pilares, vigas e lajes conectadas. Entretanto, ao longo do tempo, tentou-se simplificar o desenho de cada peça bem como o número de peças diferentes, mantendo a possibilidade de conexões. Diante disso, obteve-se vários conjuntos intermediários até chegar ao modelo final.

Versão 2.0

Para esta versão reestruturamos o modelo, incluindo peças em EVA entre as peças de MDF, buscando unir a rigidez do MDF com a flexibilidade do EVA tornando a visualização dos esforços de compressão mais clara e efetiva (Figura 07).



Figura 07: Trechos de viga com espaçadores em EVA evidenciando os esforços de compressão. **Fonte:** LOBOSCO; CÂMARA, 2018.

Em seguida, buscamos desenvolver conectores específicos capazes de fazer os encaixes entre vigas e pilares em dois eixos distintos, permitindo a construção de modelos trilíticos mais completos. Para isso, partimos de uma peça-base para o pilar que receberia os elásticos nas quatro extremidades, e se fixaria a uma base modular por meio de um encaixe específico. Neste conjunto, três peças de conexão fazem a transição entre os eixos das vigas, através de um sistema com encaixes simples tipo macho-e-fêmea (Figuras 07 e 08).

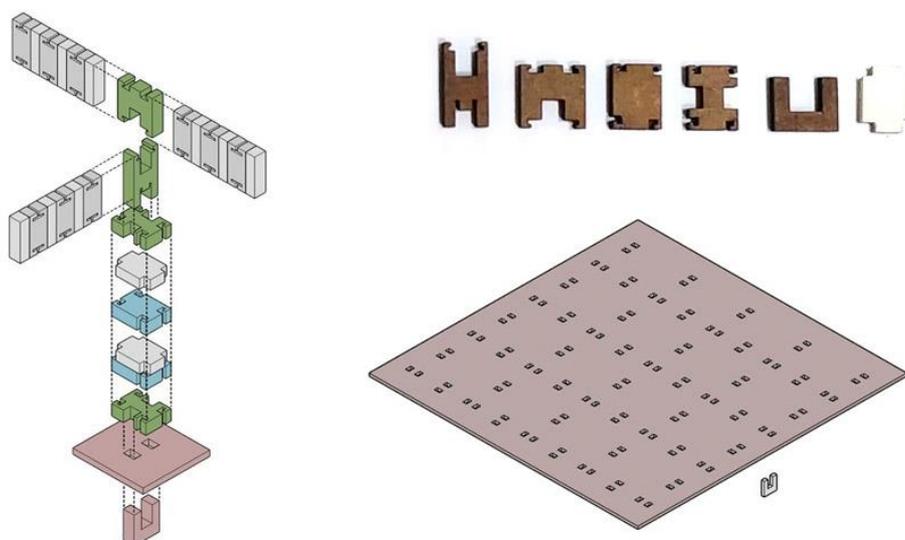


Figura 07: Esquema de encaixe no protótipo 2.0, com as conexões nos dois eixos e a base modular. **Fonte:** Autores.

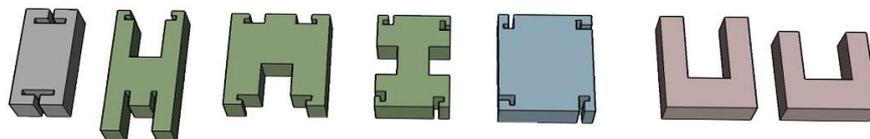


Figura 08: Desenho das peças de viga (cinza), conexões (verde), pilares (azul) e de base (rosa). **Fonte:** Autores.

Com as peças cortadas a laser em MDF e EVA, foram testadas diversas montagens diferentes (Figura 09). Assim como os iniciais, este protótipo utilizou peças em MDF com espessura 6mm, mas também peças em EVA com espessura de 5mm e a base em MDF com espessura de 3mm, com uma furação padronizada, de modo a permitir a fixação das peças em montagens diversas. Com os modelos obtidos, foi possível perceber os efeitos dos carregamentos em soluções simples como o pórtico plano e depois avançando para soluções mais complexas tridimensionais e com vigas em balanço.

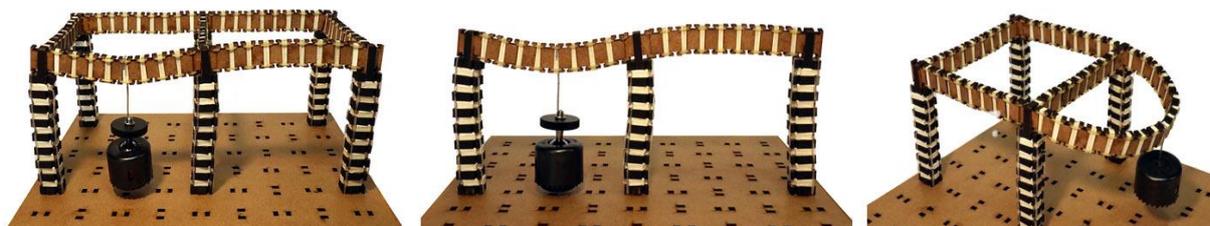


Figura 09: Possibilidades de montagens em pórticos planos, tridimensionais e com vigas em balanço. **Fonte:** LOBOSCO; CÂMARA, 2018.

Este protótipo permitiu montagens bem mais estruturadas e bastante promissoras, permitindo reproduzir conjuntos de vigas e pilares e visualizar as deformações e encaminhamento das forças ao longo do conjunto estrutural, demonstrando a grande capacidade de visualização dos fenômenos de tração, compressão e torção, principalmente. Foi possível constatar uma boa visualização dos esforços tanto no elemento no qual se aplicou a carga quanto nos elementos adjacentes a este – o que comprova que o sistema reproduz com clareza o funcionamento das estruturas existentes na realidade.

Versão 3.0

Embora o protótipo tenha apresentado um desempenho bastante positivo, nos preocupava a complexificação da montagem e a pouca estabilidade dos elásticos fixando os pilares, que poderiam

ser montados intercalados, gerando pontos de fragilidade, ou ser posicionados com sobreposição a cada dois elementos, o que tornava o pilar demasiadamente rígido e de difícil montagem.

Assim, a versão seguinte do protótipo foi desenvolvida experimentando o comportamento dos pilares com elásticos contínuos e posicionados próximos ao centro. A proposta era que cada pilar funcionasse apenas com dois elásticos, para facilitar o processo de montagem

O maior problema que nos deparamos com esta solução, é que, devido ao espaço vazio criado no interior do pilar para passar o elástico, a estrutura tendia a “dobrar” pois o elástico tendia a se deslocar para um dos lados, “achatando” horizontalmente a estrutura.

Para logarmos construir este protótipo de maneira estável e com comportamento mais realista, foi necessário transformar as peças do pilar, criando em uma combinação de duas peças atuando de maneira oposta. Assim, as peças em MDF possuíam fendas que impediam que os elásticos fossem levados para o centro das peças, e os espaçadores em EVA limitavam o conjunto, mantendo os elásticos no interior do pilar (Figura 10).

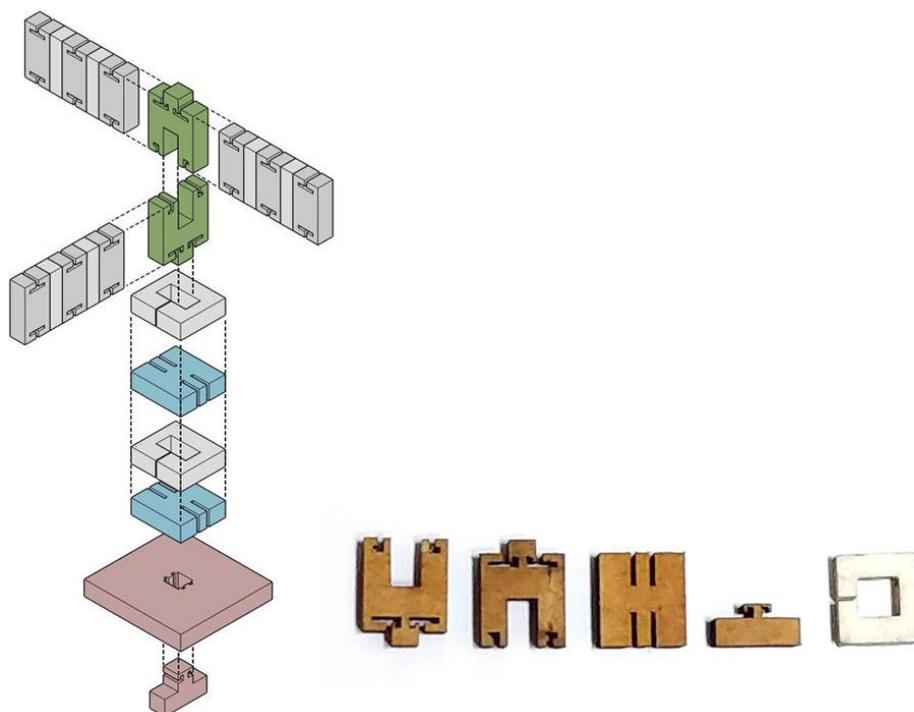


Figura 10: Esquema do novo sistema de encaixe e novas peças. **Fonte:** Autores.

Os sistemas de encaixes do protótipo foram adaptados para a nova versão. Assim, os fixadores da base agora funcionavam como um gancho, que prendia o pilar diretamente pelos elásticos. Ao mesmo tempo, para a conexão com as vigas, reduzimos a quantidade de peças, utilizando duas peças iguais e invertidas que se encaixavam no mesmo padrão macho-e-fêmea anterior (Figura 10).

O novo conjunto apresentou um desempenho bastante positivo, entretanto, a forma de encaixe dos elásticos tornou o pilar excessivamente rígido, e não facilitou significativamente sua montagem, como esperávamos. Adicionalmente ainda buscávamos a possibilidade de montagem de uma laje, complementando o conjunto e a simplificação das peças, que começavam a ficar numerosas, tornando o conjunto mais complexo.

Desenvolvimento do Modelo: Proposta final

Para a elaboração do protótipo final, reavaliamos a inserção dos espaçadores em EVA, pois apesar de permitirem a melhor visualização dos esforços de compressão, o material apresentou, com o tempo, um comportamento irregular assimilando deformações e as peças não retornavam às dimensões originais, atrapalhando a estabilidade dos modelos. Assim, mantivemos a montagem seguinte apenas as peças em MDF e os elásticos.

Assim, reestruturamos o modelo, baseado nas características das conexões macho-e-fêmea que demonstraram um comportamento muito estável, além de apresentar a possibilidade de ajuste das três dimensões das peças, uma qualidade muito interessante tendo em vista a limitação dos cortes a laser, em que uma das dimensões é sempre restrita à espessura do MDF. Esta configuração apresentava outra vantagem, pois a função de conexão entre os dois eixos das vigas poderia ser feita pela própria estrutura do pilar.

Deste modo, o pilar dos novos protótipos é composto por peças que se encaixavam primeiro entre elas e, em seguida, conectam-se umas às outras por meio dos elásticos. A base foi adaptada para receber os elásticos da mesma forma, porém dessa vez sem o uso de um fixador específico.

Por fim, para integrar a modulação de toda a estrutura e um padrão único, que permita que os conjuntos de unidades de pilares, vigas e lajes possam se organizar em múltiplos exatos nos dois sentidos, se todas as peças foram redesenhadas com dimensões múltiplas de 6mm.

Assim, a versão final do conjunto ficou composta por apenas três peças (Figura 11) capazes de reproduzir pilares, lajes e vigas em diversas montagens organizadas nos dois eixos, e com a capacidade de se estruturar em mais de um pavimento, visto que a continuidade dada pelas mesma peça desempenhando a função de conectores e pilares permite a extensão vertical sem limitação teórica.

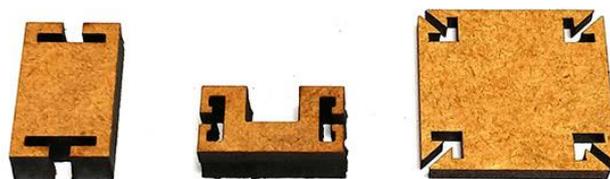


Figura 11: Conjunto final de peças, composto por apenas três elementos distintos. **Fonte:** Autores.

Deste modo percebemos que o conjunto final apresentava a simplicidade que buscávamos, produzindo um conjunto bastante simples e capaz de compor montagens bastante completas, com conexões e expansões possíveis nos três eixos (Figuras 12 e 13).

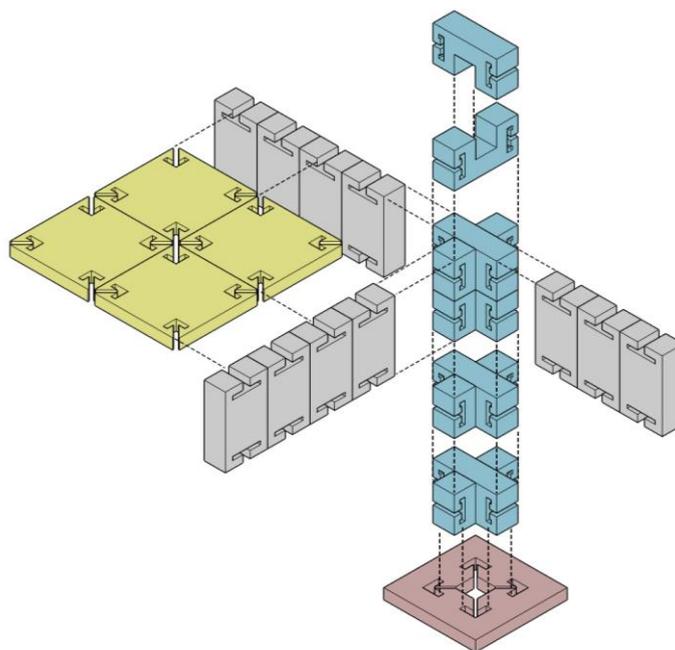


Figura 12: Esquema de montagem do protótipo final. **Fonte:** Autores.



Figura 13: Montagem do protótipo final demonstrando a construção de pilares vigas e lajes. **Fonte:** Autores.

Processo e desenvolvimento

Nos exemplos apresentados buscamos representar as versões mais significativas, que traziam um conjunto mais acabado e uma transformação significativa em relação às versões anteriores, entretanto o processo de elaboração de um conjunto de peças capaz de apresentar um comportamento complexo como o de simular o comportamento estrutural além de permitir a elaboração de diversas montagens com relativa flexibilidade e ao mesmo tempo ser composto por um conjunto simples e enxuto de peças, requer um desenvolvimento bastante árduo.



Figura 14: Diversas peças testadas ao longo do desenvolvimento do modelo. **Fonte:** Autores.

Assim, entre cada montagem efetivamente representada neste artigo, houveram diversas variantes, sejam em pequenos ajustes de medidas, diferentes fixações dos elásticos ou encaixes específicos que decidimos suprimir em prol da clareza e fluidez do texto, mas, como ilustração deste processo apresentamos um panorama com as diversas peças desenvolvidas (Figura 14).

Conclusão

O processo de desenvolvimento de um modelo estrutural em pequena escala implica em um constante estudo da forma e sua reação entre suas partes. O desafio maior deste trabalho deu-se pela busca da melhor correspondência entre modelo e estrutura, não como forma de mimetizar o comportamento real, mas de modo a transmitir a compreensão do comportamento mecânico das estruturas através da visualização dos esforços e deformações.

Este projeto implicou em desenvolver diversas formas e conexões, possíveis entre material e todo o objeto de estudo, demonstrando que o uso de modelos qualitativos no ensino de estruturas se apresenta como uma promissora ferramenta, voltada para a compreensão do comportamento mecânico dos sistemas estruturais de maneira intuitiva e clara através da visualização dos esforços e deformações.

A proposta que norteou o desenvolvimento do modelo é que ele pudesse servir como uma ferramenta de aprendizado voltada para a compreensão do comportamento mecânico dos sistemas estruturais de maneira intuitiva e clara através da visualização dos esforços e deformações.

Assim o modelo desenvolvido deveria permitir a visualização do comportamento das estruturas, suas deformações, torções e flechas, de maneira a permitir a correlação da experiência intuitiva dos fenômenos observados com as simulações numérico-computacionais tradicionalmente realizadas no processo de concepção estrutural.

Por fim, o modelo proposto buscava ser simples, barato e versátil, de modo a ser distribuído a escolas e alunos de forma livre, para que qualquer um pudesse ter acesso aos arquivos originais e, não apenas produzir sua própria versão, mas complementar, atualizar e desenvolver novas ferramentas, com o único compromisso de compartilhar igualmente as experiências e ferramentas criadas.

Referências

- FRANCO, M. O papel da história no ensino da teoria das estruturas. In: ENCONTRO DE PROFESSORES DE ESTRUTURA PARA ESCOLAS DE ARQUITETURA, I, 1974, São Paulo. **Anais...** São Paulo: FAUUSP, 1974. p.1-7.
- HARRIS, H.; SABNIS, G. **Structural Modeling and Experimental Techniques**. Boca Raton: CRC Press, 1999.
- HILSON, B. **Basic Structural Behavior**: understanding structures from models. London: Thomas Telford, 1993.
- LOBOSCO, T. Modelos Didáticos para Exploração e Compreensão Estrutural. In: ENEEEA, III, 2017, Ouro Preto. **Anais...** Ouro Preto: UFOP, 2017.
- LOBOSCO, T.; CÂMARA, D. Desenvolvimento de Modelos Qualitativos para o Ensino de Estruturas. **PARC - Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas, SP, v. 9, n. 3, p. 167-178, set.2018.
- OLIVEIRA, M. Modelo Estrutural Qualitativo para Pré-Avaliação do Comportamento de Estruturas Metálicas. Dissertação de Mestrado, PROPEC-Departamento de Engenharia Civil, UFOP, 2008.
- WHITEHEAD, R. **Structures by Design**: Thinking, Making, Breaking. New York: Routledge, 2019.