

## **A utilização da prototipagem no processo projetual – uma ferramenta para obtenção da racionalização de resíduos sólidos da construção civil**

### *The use of prototyping in the design process - a tool to obtain the rationalization of solid construction waste*

**Eveliny dos Santos, Graduada em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Alagoas**

[eveliny.santos@fau.ufal.br](mailto:eveliny.santos@fau.ufal.br)

**Aline Ramos da Silva Barboza, Doutora em Engenharia Civil, Universidade Federal de Alagoas**

[aline@lccv.ufal.br](mailto:aline@lccv.ufal.br)

**Fernanda Monteiro Ferro, Mestranda em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Alagoas**

[fmonteferro@gmail.com](mailto:fmonteferro@gmail.com)

#### **Resumo**

Este trabalho parte do estudo sobre a sustentabilidade no setor da construção civil a partir de uma análise sobre a adoção do uso da prototipagem no processo de concepção e desenvolvimento projetual gerando maior eficácia na performance da execução da obra e diminuindo, consideravelmente, a produção de resíduos sólidos, ressaltando assim a importância para atenuar os impactos ambientais nos dias atuais. O presente artigo tem como objetivo demonstrar o quanto o uso da prototipagem na construção civil pode melhorar o processo de projeto e o planejamento da execução. A metodologia se baseou na elaboração de um projeto com base na coordenação modular com conexão dos seus componentes e posteriormente a materialização do mesmo por meio da impressão 3D onde foi possível observar ainda que, com resultados indicativos e não conclusivos, o procedimento foi satisfatório, e de fato a prototipagem proporcionou melhorias no processo de projeto e planejamento apontando falhas mesmo em fase projetual.

**Palavras-chaves:** Prototipagem; Diminuição de resíduos sólidos; Processo projetual.

#### **Abstract**

*This paper is part of the study on sustainability in the construction sector based on an analysis about the use of prototyping in design and architectural design development process to enhance*

*efficiency in the execution for work performance and decreasing considerably the production of waste solids, thus underscoring the importance to mitigate environmental impacts today. This article aims to demonstrate how the use of prototyping in construction can improve the design process and planning implementation. The methodology was based on the design base elaboration with the modular coordination with the its components connection and then the materialization do some through. 3D printing experimentation, what made possible to observe that even though there were no conclusive results, the procedure was satisfactory, and prototyping provided improvements in design process planning and pointed some mistakes even during the projetual phase.*

**Keywords:** *Prototyping; Solid Waste; Projetual phase.*

## **1. Introdução**

Segundo a Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição (ABRECON), a construção civil está atualmente entre os setores que mais produzem resíduos, sendo um dos mais poluentes do planeta. Observando o cenário ambiental atual, os profissionais e pesquisadores buscam soluções que minimizem os impactos no meio ambiente por meio da construção, conservando e preservando a natureza bem como seus recursos finitos trazendo aos projetos métodos mais sustentáveis.

O Conselho Internacional para a Pesquisa e Inovação em Construção (CIB) define a construção sustentável como “o processo holístico para restabelecer e manter a harmonia entre os ambientes natural e construído e criar estabelecimentos que confirmem a dignidade humana e estimulem a igualdade econômica” (CIB, 2002, p.8). Baseado nessa definição as discussões sobre práticas sustentáveis expandem-se procurando alcançar todas as etapas projetuais.

A fase de projeto deve ser considerada parte de um processo maior, o processo de construção de um produto. Ela é responsável pelo desenvolvimento, organização, registro e transferência das características física e tecnológicas específicas que devem ser consideradas na execução da edificação. Porém, usualmente não há integração entre a fase projetual e a construção. O projeto, muitas vezes, é utilizado simplesmente como instrumento legal, não recebendo importância e aprofundamento adequados, encurtando-se os prazos e os custos e transferindo grande parte das decisões para a etapa da obra (MELHADO, 1994 p. 75).

Durante o ciclo de uma edificação a preservação dos bens naturais findáveis assim como o tratamento adequado dos resíduos sólidos gerados pela construção na etapa pré, durante e pós-execução devem ser considerados adotando práticas e metodologias que enfatizem a racionalização construtiva cujo processo é composto pelo conjunto de todas as ações que tenham por objetivo otimizar o uso de recursos disponíveis na construção em todas as suas fases (SABBATINI, 1989 apud FRANCO, sem data, p. 1). A prototipagem surge como um dos métodos que prometem auxiliar o avanço das práticas racionais na construção. Esse conjunto de tecnologias que materializa um objeto por meio de uma relação com softwares de desenho assistido por computador (CAD) serve

como um auxílio para uma melhor visualização de eventuais problemáticas, erros de compatibilização entre projetos complementares e até mesmo entre seus componentes. Empregada ao longo das etapas de desenvolvimento de um produto, ela consegue reduzir a incerteza do resultado final associada e ao seu processo de produção (SAFARRO, 2007).

Embora internacionalmente a produção de protótipos como instrumento para projetos tenha sido utilizada desde a década de 1990, no Brasil essa prática só começou a ser apropriada em 2007, com experiência pioneira do LAPAC/FEC/UNICAMP (COSTA, 2013). Na construção civil esse método permite aos projetistas criar rapidamente protótipos concretos a partir de seus projetos, ao invés de figuras bidimensionais constituindo assim um auxílio visual excelente durante a discussão prévia do projeto com colaboradores ou clientes e na fase executiva, possibilitando a rapidez da realização da obra, estimando custo de uma forma mais precisa e prevendo possíveis problemas.

## **2. Métodos**

Utilizando-se como estudo de caso o projeto desenvolvido para a construção de um Núcleo de Pesquisa em Sustentabilidade para a Construção Civil num dos campi universitários das universidades participantes da rede de pesquisa vinculada a este trabalho, buscou-se atingir a racionalização dos resíduos sólidos e minimizar seus impactos ambientais desde sua concepção. A princípio considerou-se as diretrizes estabelecidas na NBR 15873/2010 que se refere à coordenação modular, instrumento designado a coordenar as dimensões de todas as etapas que cabem à indústria da construção civil através de um módulo básico decimétrico (10 cm), desde a fabricação de componentes, projetos, execução, até a manutenção, trazendo otimização, simplificação aos processos.

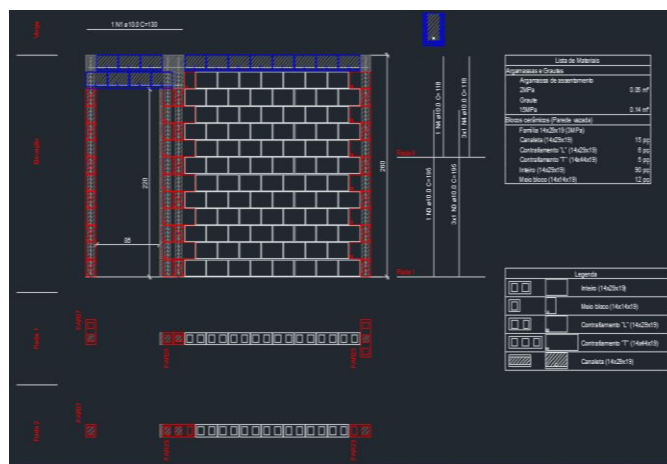
Essa técnica tem se configurado como uma das principais ferramentas na busca pela racionalização do setor da construção civil, de modo que o processo de construção de edificações possa aplicar efetivamente as melhores práticas através da padronização dimensional dos componentes construtivos, utilizando como medida básica o módulo  $M=10\text{cm}$ , cujo padrão dimensional deve ser considerado desde a concepção do projeto, norteando a fabricação dos componentes e também devendo ser considerado ainda durante a fase de execução da obra, cujas ferramentas devem garantir uma execução fiel ao projeto, a fim de se garantir os benefícios propostos por tal ferramenta.

O projeto conta com uma área de  $94\text{m}^2$  distribuídos em dois pavimentos com recepção, cozinha, banheiro, depósito, escada, sala de reunião e duas salas de pesquisa, além de uma cobertura com telhado verde e placas fotovoltaicas que servirá para abastecimento e produção energia elétrica.

As plantas baixas, fachadas e cortes basearam-se num quadriculado modular de referência, o que permitiu coordenar a posição e as dimensões dos componentes de construção. Assim, há uma maior facilidade na realização do projeto pela simplicidade de sua representação e também na montagem dos componentes, o que reduz cortes durante a obra (Banco Nacional de Habitação e Instituto de Desenvolvimento Econômico e Gerencial, apud GREVEN e BALDAUF, 2007, p. 47).

Após a escolha dessa ferramenta que conduzira o projeto, decidiu-se utilizar o sistema construtivo de alvenaria estrutural com blocos de concreto, que enfatizou os efeitos positivos da utilização da coordenação modular por ser um sistema que não permite quebras, cortes dos componentes e tomadas de decisão em obra, necessitando que todos os elementos e componentes de projeto tenham dimensões coordenadas entre si. Ao utilizar uma padronização de medidas em função do módulo básico, a aplicação da coordenação modular resulta em um projeto organizado e conciso, onde cada componente modulado é direcionado ao seu respectivo espaço sem haver interferências com os demais, a fim de diminuir os imprevistos corriqueiros que são encontrados em obras.

Desenvolvido em plataforma BIM (*Building Information Modeling*), o projeto ainda contou com o auxílio do QiAlvenaria, software específico para alvenaria estrutural que possibilita a definição das fiadas, escolha inteligente dos blocos e melhor detalhamento do projeto gerando a visualização automática das elevações, explicitando a paginação de cada parede, seja ela interna ou externa (figura 1). Posteriormente materializou-se com utilização da impressora 3D onde ocorreram três impressões de acordo com a necessidade de visualização em cada etapa de concepção, da mais inicial e geral à final, mais detalhada com a impressão de cada componente especificamente, sendo uma dela para melhor entendimento do componente porta.



**Figura 1 – Paginação de parede no software Qi Alvenaria. Fonte: Elaborada pelos autores.**

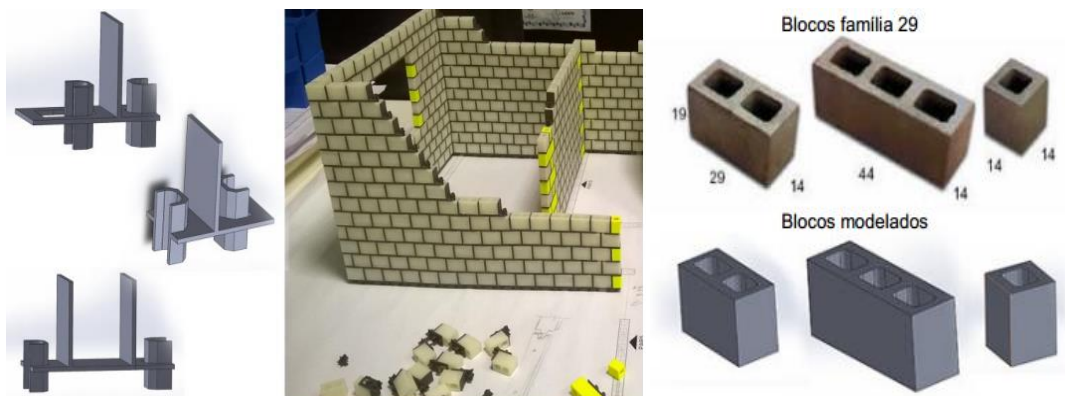
No protótipo 01 (figura 2) observou-se aspectos de concepção, setorização, arranjo espacial das paredes e, sobretudo, a percepção visual da volumetria adotada. Sendo o primeiro modelo 3D dentro do trabalho desenvolvido, ele teve a função de materializar a plasticidade e forma projetual adotadas. Devido a isto, a impressão não possuiu complexidade na montagem de suas peças, sendo fragmentado apenas por pavimento, sem pequenas frações, onde cada andar é um elemento independente encaixável no outro de modo que formam o prédio único quando sobrepostos. Sua escala numérica foi de 1:100 que resultou em objetos de fácil manuseio com pequenas dimensões métricas favorecendo as análises volumétricas. Por serem elementos únicos, esses modelos também não necessitaram de cores, sendo assim monocromáticos.



**Figura 2 – Diferentes pavimentos do protótipo 01. Fonte: Elaborada pelos autores.**

A família de blocos cerâmicos de alvenaria estrutural adotada no projeto foi a 29, composta de três elementos básicos: o bloco B29 (14x19x29 cm), o bloco B14 (14x19x19cm) e o bloco B44 (44x19x14cm). Ao utilizar esse grupo de blocos projeta-se com a unidade modular de 15 e seus múltiplos, onde 15 é a medida final do bloco já com a junta de 1 centímetro, dispensando o uso de elementos compensadores. A avaliação desse sistema construtivo só foi possível mediante a impressão do protótipo 02 (figura 3), que diferente do protótipo 01, detém um nível mais apurado de detalhes.

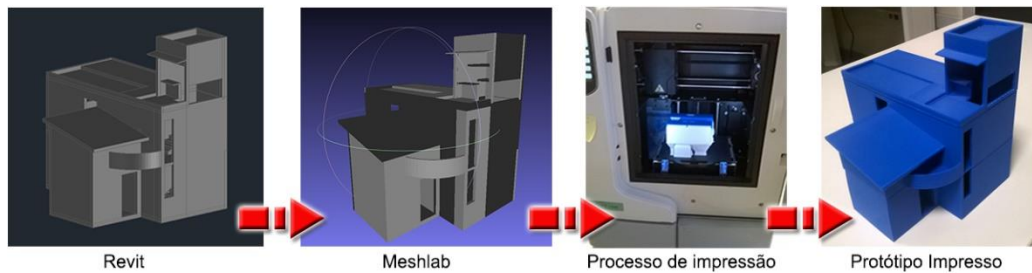
A segunda impressão 3D (figura 3) consiste na produção unitária de todos os blocos estruturais pertencentes à família 29 admitida no projeto, bem como o encaixe das juntas verticais e horizontais, e posteriormente, os componentes dos projetos complementares como tubulações hidráulicas para análise da compatibilização sem perda de materiais. Após a produção individual das peças, foi impressa a planta baixa de cada pavimento na escala de 1:20 que norteou a montagem dos elementos.



**Figura 3 – Impressão dos componentes e Protótipo 02. Fonte: Elaborada pelos autores.**

Com a questão plástica solucionada na primeira prototipagem, nessa etapa o aspecto explorado foi o funcionamento dos componentes e as relações entre si no projeto. A escala ampliada permitiu montar cada fiada individualmente e sinalizar as funções (verga, contraverga, cinta de amarração) dos blocos, bem como sinalizar os pontos previstos para grautemento e abertura de shafts. No caso da materialização mais detalhada cada item recebeu uma cor representando um tipo de componente, permitindo verificar a intercambialidade entre eles, melhorar as estratégias de projeto e a gestão da construção.

Todas as peças modeladas na plataforma BIM foram exportadas para o software Meshlab (figura 4) que prepara o arquivo modelado e o converte em arquivo .stl, transformando as peças em geometria pura sem textura, cor ou material. Posteriormente são validadas e enviadas para a impressora 3D. Ao serem impressas são retiradas das pequenas estruturas que a máquina necessita e higienizadas. O material utilizado para as peças é o plástico ABS.



**Figura 4 – Processo de impressão 3D. Fonte: Elaborada pelos autores.**

Devido a precisão exigida para o encaixe perfeito dos blocos, as juntas de assentamento de exatamente 1 cm também foram impressas garantindo na paginação das paredes sem nenhuma alteração. Outro ponto importante neste trabalho foram as constantes reuniões de compatibilização com todos os projetistas comprometidos durante a criação do trabalho com o protótipo 01 já em mãos. É de extrema importância que haja uma perfeita integração entre todos os profissionais envolvidos nos processos (BARBOZA e LIMA, 2009 p. 12).

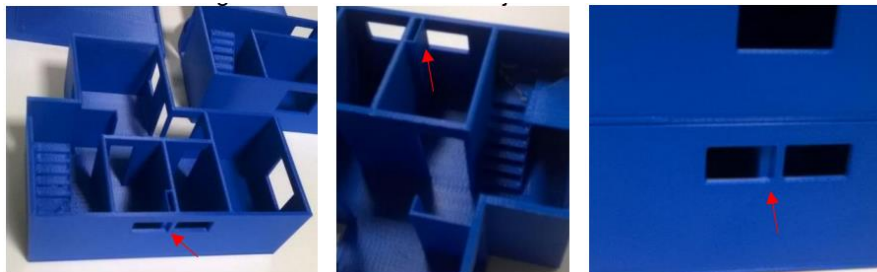
### **3. Resultados e discussões**

Tempo, custo e energia tem sido o tripé da construção civil e a prototipagem vem para agregar ainda mais, permitindo testes, validações e correções através da visualização de erros passíveis de correções em representação bidimensional. Observa-se através da impressão 3D, mesmo que na fase de estudo, uma previsão do processo construtivo, tornando possível enxergar conflitos e corrigi-los ainda na fase projetual. No projeto de alvenaria estrutural com coordenação modular nada pode ser omitido ou deixado para estudo posterior durante a execução. Sabe-se que com alterações ainda em fase projetual o custo torna-se muito inferior se comparado aos da fase de execução sem muita interferência no cronograma da obra além de ser possível verificar os ajustes nas diferentes peças e visualizar a evolução física das etapas da obra.

Apesar de que hoje em dia pela praticidade, a visualização 2D ainda seja a forma mais convencional de projetar não se pode negar que o entendimento do desenho é limitado e não possibilita prever e/ou detectar os prováveis erros de compatibilidade com clareza. Embora os resultados apresentados sejam parciais, podemos observar melhorias significativas na fase projetual, através principalmente da interação física com o protótipo da edificação e as partes que a compõem, possibilitando interferências

prévias no projeto, uma vez que é possível visualizar todo o sistema construtivo e a conectividade entre as partes, antes destas serem montadas no canteiro de obras. Porém, no que se refere aos aspectos econômicos quantitativos, somente com a construção efetiva do Núcleo de Pesquisa é que estes poderão ser mensurados.

No caso do projeto em questão, o primeiro protótipo impresso ajudou a visualização do shaft na cozinha localizada no mesmo lugar de uma das esquadrias externas (figura 5), o que na construção solicitaria uma solução inesperada e certamente geraria a quebra de material, produzindo resíduo e prejudicando a estrutura da construção. Similarmente notou-se que a localização dos equipamentos aquecedores da edificação que não estavam bem resolvidos em planta baixa.



**Figura 5 – Erro de compatibilização visualizada no protótipo. Fonte: Elaborada pelos autores.**

#### **4. Considerações finais**

Com os avanços significativos da sociedade atual no âmbito tecnológico, a busca pela diminuição de resíduos, perda de energia, mão-de-obra e recursos naturais é crescente e contínua. Constata-se, mesmo que parcialmente, a suma importância que a prototipagem desenvolve nesse caso em particular e em outros, como do ramo automobilístico onde a materialização do produto é habitual e comprovada a eficácia da técnica. Pode-se observar que no setor mencionado a prototipagem é incluída no processo de construção e concepção de peças justamente pela melhor visualização do todo.

Através do apontar de falhas antecipadamente por meio da visualização tridimensional e da interação física com as peças, produzidas através da impressora 3D, e que representam os componentes construtivos, é possível ajustar possíveis incompatibilidades do projeto e compreender melhor a edificação como um sistema, aspecto difícil de ser avaliado apenas com a visualização bidimensional ou tridimensional digital.

Contudo, nota-se que a inovação tecnológica de impressão 3D aliada a coordenação modular minimiza os erros projetuais diminuindo consideravelmente a produção de resíduos sólidos, sendo uma economia também de material e custo, além de melhorar a qualidade do produto final e construtibilidade, sendo assim um apoio à projeto e execução de construções.

## Referências

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15873: Coordenação Modular para Edificações – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2010. 9p.
- BARBOZA, A. S. R.; LIMA, S. F. C. **Coordenação Modular Aplicada a Habitação de Interesse Social Unifamiliar**. Manual Técnico, Maceió, 2009. 71p.
- CORBELLA, Oscar; YANNAS, Simos. **Em busca de uma arquitetura sustentável para os trópicos: conforto ambiental**. Rio de Janeiro: Editorial Revan, 2003.
- CORRÊA, L. R. **Sustentabilidade na construção civil**. 2009. 70 f. Monografia (Curso de Especialização em Construção Civil)-Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009. Disponível em:  
<<http://www.cecc.eng.ufmg.br/trabalhos/pg1/Sustentabilidade%20na%20Constru%E7%20CivilL.pdf>>. Acesso em 15 mar. 2016.
- COSTA, F. J. M. **Do modelo geométrico ao modelo físico: o tridimensional na educação do arquiteto e urbanista**. 2013. 182 f. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo)– Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Rio Grande do Norte, 2013. Disponível em:  
<<http://repositorio.ufrn.br:8080/jspui/handle/123456789/12312>>. Acesso em: 07 mar. 2016.
- DORNELLES, V.P.; SABBATINI, F.H. (1993). **O planejamento racional da produção nos sistemas construtivos em alvenaria estrutural não armada**. In: III SIMPÓSIO IBERO 53 AMERICANO SOBRE TÉCNICAS CONSTRUTIVAS INDUSTRIALIZADAS PARA HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL, São Paulo, 1993. Anais. São Paulo, IPT. v.1, p.1.
- GREVEN, H. A.; BALDAUF, A. S. F. **Introdução à Coordenação Modular da Construção no Brasil: Uma Abordagem Atualizada**. Coleção Habitare, ANTAC, Porto Alegre, 2007. v. 9, 72p.
- MELHADO, S. B. **Qualidade do projeto na construção de edifícios: aplicação ao caso das empresas de incorporação e construção**. 1994. 308 f. Tese (Doutorado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Construção Civil, São Paulo, 1994.
- SAFFARO, F. A. **Uso da prototipagem para gestão do processo de produção da construção civil**. 2007. 237 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade





Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007. Disponível em:

<<https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/90049>>. Acesso em 07 mar. 2016.