

Recife 4 a 6 de Novembro 2015

VII Encontro de Tecnologia de Informação e Comunicação na Construção

Edificações, Infra-estrutura e Cidade: Do BIM ao CIM

ufpe.br/tic2015



OS GANHOS DO USO DA PROTOTIPAGEM EM EDIFICAÇÃO¹

INSTRUCTIONS FOR FULL PAPER PREPARATION FOR TIC2015

Aline da Silva Ramos Barboza
Universidade Federal de Alagoas (UFAL)
aline@lccv.ufal.br

Fernanda Dias Joazeiro
Universidade Federal de Alagoas (UFAL)
fernandajoazeiro@hotmail.com

José Adelson de Amorim
Universidade Federal de Alagoas (UFAL)
adelson_amorim@lccv.ufal.br

David Piter Ferreira de Oliveira
Universidade Federal de Alagoas (UFAL)
piter.egc@gmail.com

Resumo

A indústria da construção civil é composta por várias atividades, ligadas entre si por uma vasta diversificação de produtos. O processo de projeto é de extrema importância e causa forte impacto no processo de execução da obra. As falhas no projeto são apontadas como as principais causas dos problemas patológicos na Construção Civil. O presente artigo é parte integrante da pesquisa intitulada Rede Nacional para Desenvolvimento de um Sistema Integrador Aplicado a Sistemas Construtivos em Alvenaria com Base na Coordenação Modular e na Conectividade entre Componentes – SISMODO – FINEP e tem como objetivo demonstrar quanto a impressora 3D pode melhorar o processo de projeto e o planejamento da execução. Utilizando-se do projeto desenvolvido para um Núcleo de Pesquisa em alvenaria estrutural buscou-se atingir sustentabilidade em todo o processo. Os projetos foram desenvolvidos em plataformas *BIM – Building Information Modeling* com utilização da impressora 3D. Os protótipos gerados nos permitem ter não só modelos tridimensionais, mas também elaborar testes e validações de desempenho dos processos construtivos. Desta forma a ferramenta de modelagem pode proporcionar uma obra racional e de qualidade, pois as decisões e soluções projetuais foram pensadas na etapa de desenvolvimento do objeto, e não de produção.

Palavras-chave: Projeto. Impressora 3D. Protótipo

Abstract

Civil engineering industry is made up of several activities interconnected by a huge diversification of products. The design process plays an extremely important role in the productive chain influencing the execution of the project. The main cause of defects or pathological issues in civil construction are seen as flaws in the design. This article is part of a research named National Network to Development of an Integrator System applied to

¹ BARBOZA, A. S. R.; JOAZEIRO, F. D.; AMORIM, J. A.; OLIVEIRA, D. P. F. Os Ganhos do Uso da Prototipagem em Edificação. Artigo Completo. TIC2015. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DE INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO, 7., 2015, Recife. *Anais...* Porto Alegre: ANTAC, 2015.



Constructive Systems in Masonry based on Modular Coordination and Connectivity between Components – SISMOD, funded by FINEP and it aims to show how much 3D printer is able to improve the design process and its execution. This project was developed in order to build a research center in structural masonry employing the principles of modular coordination and connectivity between components, highlighting sustainability in the whole process. The projects were developed in BIM platforms (Building Information Modeling) using a 3D printer. There are three-dimensional models created in order to elaborate tests and performance validation of the construction processes. Thus, the modeling tool can provide qualified and rational work since design solutions were thought on the design stage of development, not in the production.

Keywords: project. 3D printer. prototype

1 INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil possui características peculiares, pois cria produtos únicos (salvo exceções), não possibilita a produção em cadeia e sim a produção centralizada onde os operários são móveis em torno de um produto fixo, a mão de obra é pouco qualificada, o grau de precisão é muito menor quando comparado a outras indústrias e é composta por várias atividades com diferentes graus de complexidade, ligadas entre si por uma vasta diversificação de produtos (MESSEGUER, 1991).

Diante disso o processo de projeto desempenha um papel de extrema importância na cadeia produtiva com forte impacto no processo de execução da obra, pois define partidos, detalhes construtivos e especificações que permitem uma maior ou menor facilidade de construir afetando os custos da produção.

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 físicas e tecnológicas específicas que devem ser consideradas na execução da edificação e é nessa etapa que são estabelecidos todos os subsídios necessários para o desenvolvimento do empreendimento (MELHADO, 1994 p. 87).

Segundo Bagatelli (2002) o projeto é a etapa inicial do processo de construção, pois influencia decisivamente a exequibilidade da obra, a determinação do desempenho da edificação, a qualidade e o custo.

A construção do edifício fica comprometida quando as informações do projeto são precárias permitindo que construtores e operários tomem decisões de como executá-lo dentro do canteiro de obras. Além disso afirma Messeguer (1991) que a maioria dos problemas patológicos identificado ao longo da vida útil da edificação é originada por falhas de projeto.

Para que o projeto torne-se uma ferramenta eficaz na conexão projeto-obra é necessário que tenha um detalhamento minucioso, clareza e objetividade, havendo a preocupação de projetar para produzir (BAGATELLI, 2002).

1.1 Projeto Coordenado Modularmente

Em um projeto modular, o projetista deve desenvolver as plantas baixas, fachadas e cortes baseadas num quadriculado modular de referência, de forma que permita coordenar a posição e as dimensões dos componentes de construção. (Banco Nacional de Habitação e Instituto de Desenvolvimento Econômico e Gerencial, apud GREVEN e BALDAUF, 2007, p. 47).

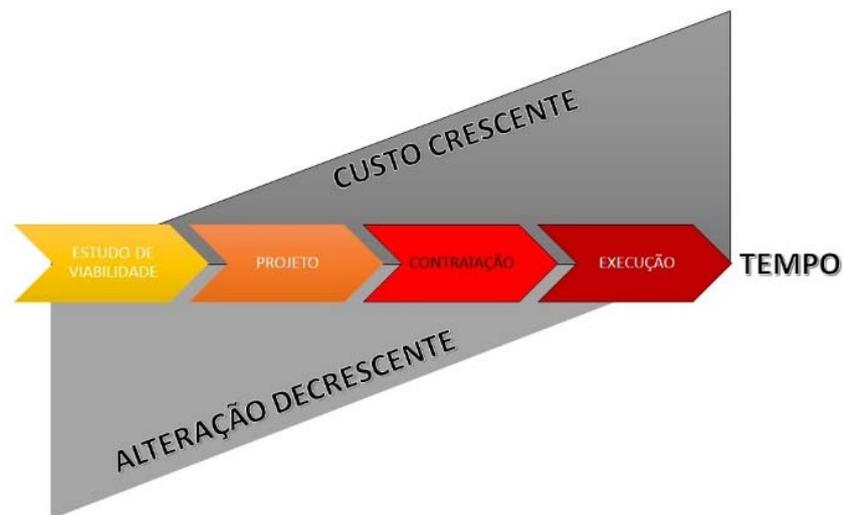
O projetista passa então a ter uma nova visão do projeto que envolve a fase de seleção de materiais, execução e avaliação do projeto. No contexto da alvenaria estrutural, a utilização da coordenação modular ganha mais ênfase, por ser um sistema que não permite quebras, cortes dos componentes e tomadas de decisão em obra, necessitando que todos



componentes de projeto tenham dimensões coordenadas entre si (BARBOZA e LIMA 2009 p.12).

Segundo Celani e Bertho (2007) o processo de projeto é um conjunto de resolução de problemas, quanto mais cedo forem detectados, discutidos e solucionados menor será o custo. Durante as etapas iniciais, as decisões de projeto podem ser exaustivamente avaliadas e alteradas sem que isto implique em custos significativos para o empreendimento (Gráfico 1). À medida que as etapas avançam, as alterações vão ficando mais dispendiosas. Portanto as decisões e as alterações necessárias devem ser tomadas nas etapas iniciais como Estudo de Viabilidade e Projeto.

Gráfico 1: Relação entre decisões, etapas do empreendimento e custo



Fonte – Autores, 2015

Segundo Andrade (2000) é comum o fato de que a compatibilização dimensional em projetos de alvenaria estrutural coordenado modularmente seja considerada apenas na fase do projeto de produção enquanto que o ideal é que a compatibilização seja pensada já na fase de estudo. Essa compatibilização feita somente na fase do projeto de produção exige modificações nos demais projetos, fato que pode tornar o processo mais oneroso.

1.2 A prototipagem na construção civil

Os sistemas de prototipagem rápida (*RP - Rapid Prototyping*) surgiram em 1987 com a introdução da tecnologia de estereolitografia, processo esse que solidifica camadas de um polímero líquido sensível à luz ultravioleta usando tecnologia a laser. Atualmente, existem diversas tecnologias de impressão 3D, todas baseiam-se no princípio de executar diversos fatiamentos da figura, obtendo uma fina camada através do processo de decomposição de matérias das partes sólidas, sobrepondo camadas uma sobre a outra até obter o objeto desejado (CARRETO, 2015).

Os materiais a serem depositados são os mais variados desde queijo, chocolate, vidro, cerâmica até metal sendo o mais utilizado o plástico como o ABS (*Acrylonitrile Butadiene Styrene*) e PLA (Ácido Poliático). Dentre as tecnologias de decomposição tem-se a SLS (*Selective Laser Sintering*) onde o objeto é criado por meio da decomposição de materiais em pó, a SLM (*Selective Laser Melting*) utiliza-se de um laser para derreter o material, a *Plastic Sheet Lamination* utiliza-se de uma fina lâmina de plástico recortada conforme o desenho de cada camada e coladas entre si, com uma cola especial, na técnica FDM (*Fused Deposition Modeling*) o material utilizado é fundido por extrusão dentro de uma



cabeça de impressão que torna o material quase líquido com precisão na ordem de 0.1 mm, essa tecnologia surgiu na década de 90 e é uma das mais utilizadas por ser considerada uma tecnologia simples e conseqüentemente mais barata (TAKAGAKI, 2012).

Protótipo é a representação de um produto ou parte dele que seja de interesse dos projetistas. Prototipagem compreende todo o processo de desenvolvimento do protótipo. Uma importante característica da atividade de prototipagem é sua natureza experimental, envolvendo um ciclo repetitivo de tentativas que incluem produção de protótipos, avaliação e correção, até que as expectativas sejam satisfeitas. Com a prototipagem rápida pode-se criar uma peça através de um desenho (ULRICH, EPPINGER, apud SAFFARO, 2007).

Todo o processo tem início com a obtenção de um modelo virtual 3D criado por *software* de modelagem ou CAD em seguida é necessário converter o arquivo para o formato STL, esse formato aproxima a forma do objeto modelado através de facetas triangulares podendo ser enviado à impressora 3D. O tempo de produção dos protótipos pode durar horas ou até dias, dependendo do tipo da máquina usada, do tamanho e do número de modelos produzidos (NETTO; OGLIARI e AHRENS, 2003).

A prototipagem rápida na construção civil pode ser utilizada por arquitetos e engenheiros ao longo das etapas de projeto e de produção a fim de aprimorar a coordenação de projeto, reduzir o tempo e o custo do processo e melhorar a qualidade do produto final. Pode melhorar ainda a construtibilidade dos projetos, a verificação de ajustes nas diferentes peças, a visualização da evolução física das etapas da obra, o planejamento e gerenciamento do canteiro de obras e a logística (CLARK; CHEW e FUJIMOTO apud SAFFARO, 2007).

2 METODOLOGIA

Utilizando-se do projeto desenvolvido para o Núcleo de Pesquisa em Sustentabilidade para a Construção Civil localizado na Universidade Federal de Alagoas – UFAL, no Campus A. C. Simões na cidade de Maceió – Alagoas que será executado em alvenaria estrutural, tomando como base a coordenação modular² e a conectividade entre os componentes buscou-se atingir a sustentabilidade em todo o processo. A edificação terá área total construída de 86m² e sua construção tem por principal finalidade a avaliação da eficiência da técnica construtiva.

O primeiro passo do projeto modular foi estabelecer quais componentes seriam utilizados para a montagem da edificação, optando-se pelo bloco cerâmico estrutural da família 29 com dimensões de 29 x 19 x 14 cm, meio bloco 19 x 14 x 14 cm, bloco para encontro em “T” 44 x 19 x 14 cm e o bloco canaleta de 29 x 19 x 14 cm, foi considerado também a espessura das juntas horizontais e verticais que devem ser de 10 mm com tolerância de +/- 3 mm (ABNT NBR 15.961-2:2011).

Para minimizar modificações nos projetos e retrabalhos por causa da compatibilização, que geram desperdício de tempo, foram feitas reuniões desde o início do estudo preliminar com todos os projetistas envolvidos no processo, a fim de estabelecer uma visão integrada de acordo com que recomenda Andrade (2000).

Para a elaboração do projeto arquitetônico foi utilizado o *software* CAD Revit® produzindo-se plantas baixa, cortes, fachadas e modelos tridimensionais (Figura 1), para a elaboração

² Coordenação Modular é a coordenação dimensional mediante o emprego de um módulo básico ou de um multimódulo. O módulo básico é a menor unidade de medida linear da coordenação modular, representado pela letra M, cujo valor normalizado é M = 100 mm (ABNT NBR 15.873:2010, p.1). O uso da coordenação modular visa coordenar as dimensões de todas as etapas que cabem à indústria da construção civil desde a fabricação de componentes, projetos, execução, até a manutenção, trazendo otimização, simplificação e racionalização aos processos (BARBOZA e LIMA, 2009 p. 12).



dos projetos estrutural, hidrossanitário, elétrico, incêndio e de ar condicionado foi utilizado os softwares da AltoQi®.

Figura 1: Modelo Tridimensional – CAD Revit



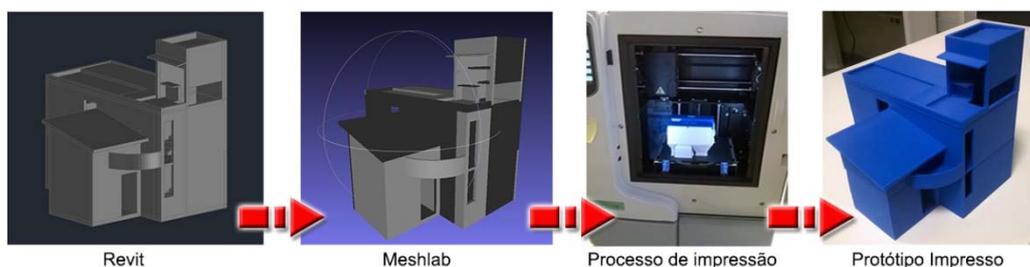
Fonte: Autores, 2015

A prototipagem teve início através da obtenção de um modelo virtual 3D criado no *software* CAD *Revit*® em seguida o arquivo foi convertido para o formato DWG e importado no *software* *Sketchup*®, possibilitando a exportação do mesmo para o formato OBJ.

Dando continuidade, foram utilizadas algumas ferramentas do *software* *Meshlab*® (Figura 2) para a análise e verificação de possíveis erros que possam interferir e invalidar o processo de impressão 3D. Logo após o processo de validação o arquivo tridimensional é salvo no formato STL e enviado para o *software* da impressora 3D, no qual, é configurada escala, resolução, posição entre outros.

A impressora 3D utilizada foi a com tecnologia FDM (*Fused Deposition Modeling*), os cartuchos contém o termoplástico ABS para produção dos protótipos, a espessura das camadas é de 0,254 mm ou 0,330 mm com um volume de construção igual ou superior a 203 X 185 X 127 mm, dispõe também de material suporte solúvel, contribuindo na impressão de várias peças representativas do modelo projetado, podendo até imprimir peças pré-montadas durante o processo de modelagem, não necessitando que após a impressão as peças sejam montadas uma a uma.

Figura 2 – Metodologia para impressão 3D



Fonte: Autores, 2015

No caso de detalhes construtivos e instalação de esquadrias pretende-se imprimir os protótipos em escalas maiores como 1:20 e 1:10.

Foram desenvolvidos diferentes protótipos que permitiram ter não só modelos tridimensionais, mas também elaborar testes e validações de desempenho dos processos construtivos, tornando possível enxergar conflitos e corrigi-los ainda na fase de projeto.



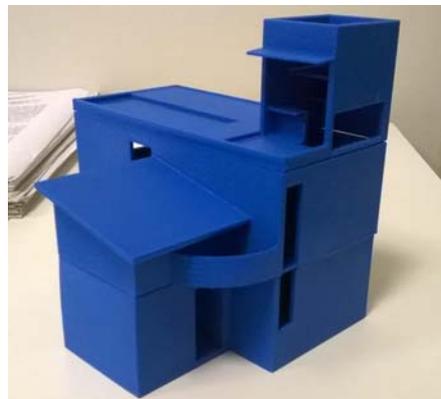
3 PROTÓTIPOS E OS REFERIDOS TESTES DE VALIDAÇÃO

Durante a fase de avaliação do desempenho dos processos construtivos, foram desenvolvidos alguns protótipos para análise e adequações dos componentes da obra, bem como, observância do espaço destinado a todos os equipamentos e maquinários que serão utilizados na edificação.

3.1 Protótipo 01

O protótipo foi construído para verificar aspectos de concepção, volumetria e setorização, foi utilizado também para melhorar a visualização nas reuniões, trazendo melhorias nas considerações dos projetos complementares.

Figura 3 – Protótipo 01 impresso



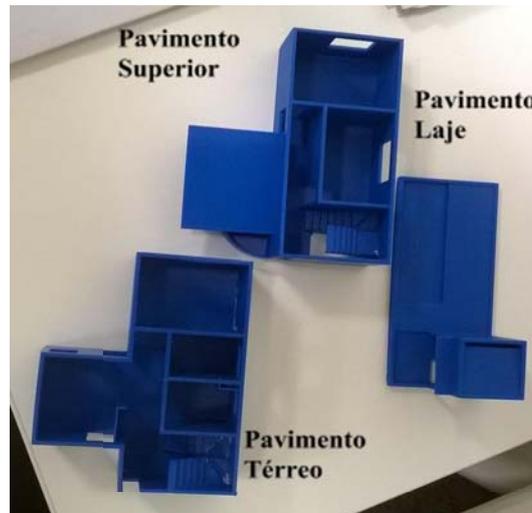
Fonte: Autores, 2015

Para imprimir o protótipo do laboratório na escala 1:50 a impressora demorou 18 horas e por causa do material suporte teve que ser levado para a lavadora que demorou mais 12 horas perfazendo um total de 30 horas.

Considerando que, o projeto arquitetônico estabelece o partido do edifício, influenciando o desenvolvimento de todos os demais, foram analisados os condicionantes do projeto, o arranjo espacial das paredes e a necessidade de amarração entre os elementos. A partir de um protótipo dividido por pavimentos, térreo, superior e laje como mostra a figura 4, se torna fácil prever, possíveis pontos de passagem de *shafts* projetados para passagens das prumadas das tubulações, locais ideais para instalação dos condicionadores de ar e paredes não estruturais para passagem de tubulações.



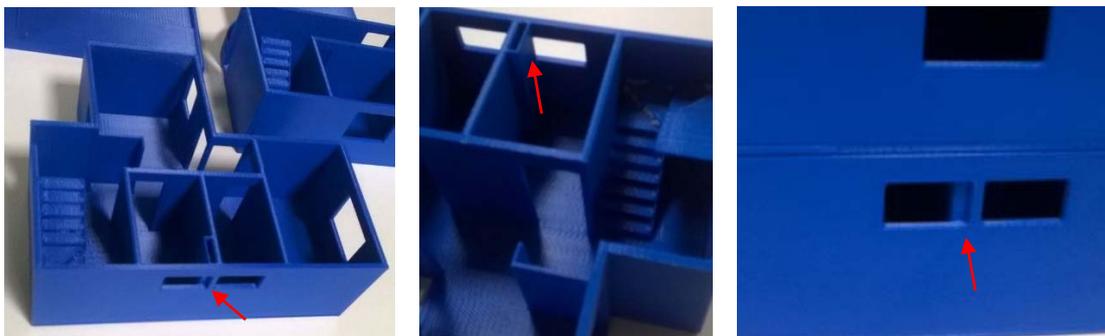
Figura 4 – Protótipo 01 dividido por pavimentos.



Fonte: Autores, 2015

Com esse protótipo foi possível enxergar uma interferência importantíssima, onde o *shaft* do banheiro coincidia com a janela, esse conflito foi corrigido sem que houvesse gastos significativos (Figura 5).

Figura 5 – Conflito shaft com janela do banheiro



Fonte: Autores, 2015

De acordo com que afirma Saffaro (2007) a produção desse protótipo ajudou na compatibilização, possibilitou comunicação rápida e eficiente, melhorou a visualização e compreensão de todos os envolvidos com o projeto.

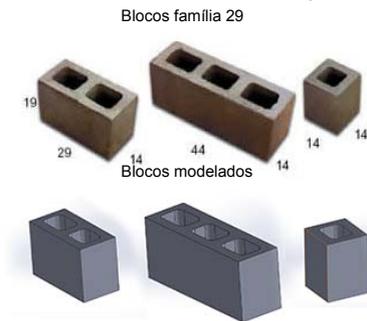
3.2 Protótipo 02

A alvenaria estrutural é um sistema construtivo racionalizado onde os elementos que desempenham função estrutural são de alvenaria, ou seja os próprios blocos. Não é permitido o corte dos componentes nem improvisações. Nesse sistema o projeto de modulação é uma etapa fundamental para que o sistema possa atingir suas vantagens.

Para o edifício em projeto, foram escolhidos os blocos da família 29, os mesmos foram modelados tridimensionalmente com *software* SolidWorks® e impressos em impressora 3D. A família é composta respectivamente por bloco 29, 14, e 44 como mostra a Figura 6. Foram impressos blocos estruturais com dimensões proporcionais aos que serão usados na obra.



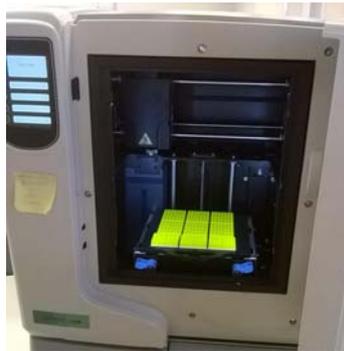
Figura 6 – Família de blocos e seus respectivos modelos 3D.



Fonte: Autores, 2015

Com o quantitativo de blocos a serem utilizados para a construção da obra gerado pelo *software* QiAlvenaria®, foi impresso a quantidade exata de blocos (Figura 7). Os blocos 29 cm foram impressos em branco. Para alvenaria estrutural é de extrema importância que se utilize os blocos 14 cm e 44 cm pois possibilitam uma perfeita modulação, por isso os mesmos forma impressos em amarelo se destacando dos demais.

Figura 7 – Pilha de blocos estruturais impressos na impressora 3D.

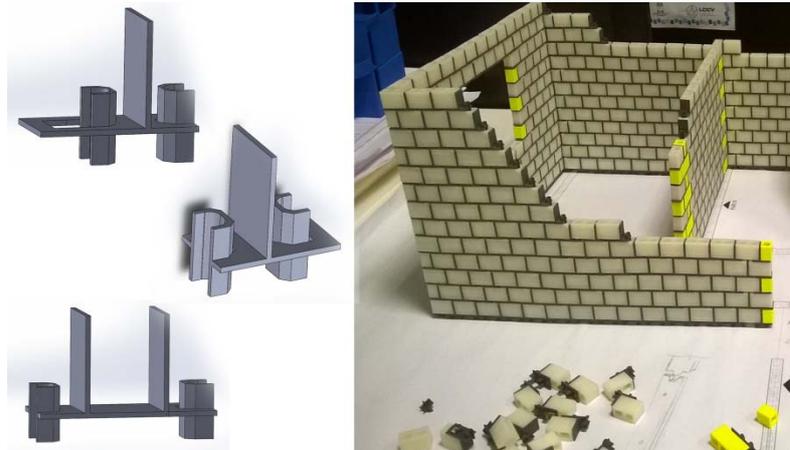


Fonte: Autores, 2015

Para montar o protótipo 02 foram desenvolvidos diversos modelos para junção dos blocos até que se chegou a um, que além de possibilitar a montagem tivesse dimensões compatíveis com as juntas horizontais e verticais (Figura 8) prescritas na norma NBR 15.961-2:2011 que são de 10 mm. Essas juntas correspondem a argamassa de assentamento.



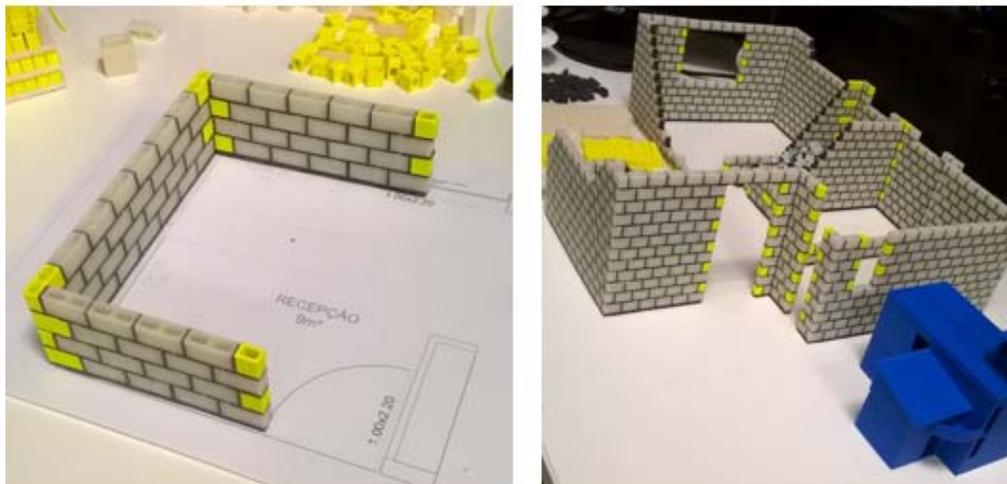
Figura 8 – Junções impressas na impressora 3D.



Fonte: Autores, 2015

A marcação da primeira fiada é a etapa que compreende o início do ciclo. É importante garantir perfeito alinhamento e o esquadro das paredes. As marcações dos eixos ortogonais são elaboradas a partir da planta baixa do projeto. A disposição e o alinhamento são mostrados na Figura 9. Os blocos foram montados um a um a exemplo do que ocorrerá na obra.

Figura 9 – Montagem do protótipo 2 utilizando as peças impressas.



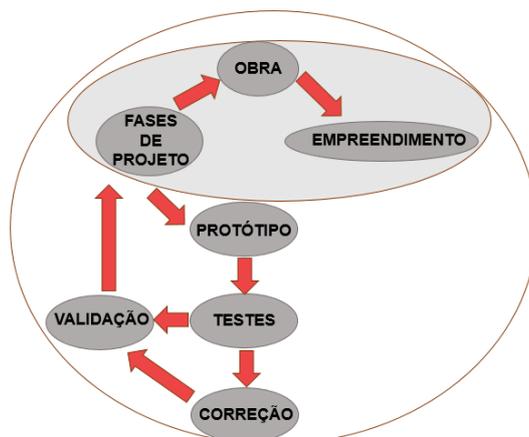
Fonte: Autores, 2015

A visualização do protótipo proporcionou enxergar o encaixe das múltiplas peças, ter uma visão ampla do projeto de modulação permitindo a verificação da intercambialidade dos componentes.

No Gráfico 2 pode-se observar o processo de projeto usual onde após os projetos concluídos ocorre a etapa de obra gerando o produto final, o empreendimento, nesse processo não são feitos testes ou validações dos projetos o que pode ocasionar problemas e imprevistos na execução da obra conforme citam os autores Bagatelli (2002) e Menseguer (1991). Pode-se observar também o processo de projeto adotado nesse estudo onde nas principais fases de projeto são elaborados protótipos, sendo possível testar e validar o projeto, se houverem problemas serão feitas as devidas correções, gerando nova validação e só então avança-se para as demais fases de projeto.



Gráfico 2: Processo de projeto



Fonte: Autores

O processo de projeto utilizando protótipos permite que as falhas de projeto sejam discutidas entre os projetistas envolvidos, possibilitando corrigi-las ainda na fase de projeto, avançando para a fase de obra somente quando feitas todas as validações dos projetos, reduzindo os erros a praticamente zero. Tornando a etapa de obra somente uma etapa de montagem de componentes, facilitando a execução, aumentando a produtividade, reduzindo o desperdício de materiais e com isso melhorando a qualidade do empreendimento.

4 CONCLUSÕES

A utilização da tecnologia de prototipagem rápida para a construção civil traz diversas vantagens, dentre elas: alta precisão, inclusive em detalhamentos de pequena escala, personalização e customização, produção ilimitada de peças com formatos e tamanhos distintos, economia de tempo em relação às produções manuais, eficiência, maior possibilidade geométrica, adaptabilidade, possibilidade de fazer simulações, permite uma visualização integrada do projeto. Além disso os protótipos podem colaborar com a execução, devido à sua capacidade de representação fiel do produto.

A impressão de componentes que serão utilizados na execução da obra como blocos e argamassas com cores diferentes permitiu verificar o encaixe das múltiplas peças, a intercambialidade dos componentes e melhorar as estratégias de projeto.

A utilização de protótipos na etapa de projeto aprimorou a visão plástico-espacial do projeto, possibilitou elaborar testes e validações de desempenho dos processos construtivos, tornando possível enxergar conflitos e corrigi-los ainda na fase de projeto com um custo muito pequeno se comparado aos da fase de execução, o que pode evitar atrasos de execução e desperdícios de materiais pois foram pensados o que fazer e como fazer, podendo ainda melhorar a gestão da construção. Proporcionou ainda o desenvolvimento de um excelente projeto, acelerou o processo produtivo e ainda garantiu mais assertividade.

Desta forma a prototipagem poderá propiciar uma obra racional e de qualidade, pois as decisões e soluções projetuais foram pensadas na etapa de desenvolvimento do objeto e não de produção.

As limitações da prototipagem são referentes a dimensão dos protótipos, pois a maior parte das impressoras tem restrições no tamanho de impressão e ainda não é possível a fabricação em série pois os custos são relativamente altos.

A disseminação da tecnologia de prototipagem rápida pode promover o desenvolvimento dos processos construtivos para indústrias tradicionais como é o caso da construção civil.



AGRADECIMENTOS

À Financiadora de Estudos e Projetos FINEP, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico CNPQ pelo apoio financeiro. À Universidade Federal de Alagoas - UFAL pelo apoio institucional. À Doutora Aline da Silva Ramos Barboza por coordenação da equipe do Sistema Integrador para Projeto e Execução de Sistemas Construtivos em Alvenaria Coordenada Modularmente - SISMOD.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15961-1:2011** Bloco de concreto Parte 1: Projeto – Elaboração. Rio de Janeiro, 2011.

_____. **NBR 15961-2:2011** Alvenaria estrutural – Bloco de concreto Parte 2: Execução e controle de obras – Elaboração. Rio de Janeiro, 2011.

ANDRADE, M. L. V. X. **Coordenação Dimensional como Ferramenta para a Qualidade em Projetos de Habitação Popular**. 2000 208p. Dissertação (Mestrado). Universidade de Brasília. Escola de Arquitetura e Urbanismo. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Brasília, 2000.

BARBOZA, A. S. R.; LIMA, S. F. C. **Coordenação Modular Aplicada a Habitação de Interesse Social Unifamiliar**. Manual Técnico, Maceió, 2009. 71p.

BAGATELLI, R. **Edifícios de alto desempenho: conceito e preposição de recomendações de projeto**. Vitória: UFES, 2002. 198p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Espírito Santo, 2002.

CELANI, G.; BERTHO, B. C. **A Prototipagem no Processo de Produção de Maquetes de Arquitetura**. Gráfica, Curitiba, Paraná. 2007. Artigo. Disponível em: <http://www.exatas.ufpr.br/portal/docs_degraf/artigos_graphica/APROTOTIPAGEM.pdf>. Acesso em: 13 maio 2015.

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.

MESEGUER, A. G. **Controle e garantia da Qualidade na Construção**. Tradução: Antônio Carmona Filho, Paulo Roberto Lago Helene, Roberto José Falcão Bauer. São Paulo, SINDUSCON-SP, PORJETO/PW, 1991. 179p.

CARRETO, P. E. F. **Prototipagem rápida e impressão 3D**. Disponível em: <<http://www.pedrocarreto.com/>>. Acesso em: 14 jun. 2015.

NETTO, A. C.; OGLIARI, A.; BEAL, V.; AHRENS, C. H. **Prototipagem Rápida: Uma ferramenta de projecto para redução do tempo de desenvolvimento e melhoria de qualidade de produtos**; IV congresso Brasileiro Gestão e Desenvolvimento de Produtos Gramado, Brasil, Outubro 2003.

TAKAGAKI, L. K. **Tecnologia de Impressão 3D**. Revista Inovação Tecnológica, São Paulo, v.2, n.2, p.2840, jul./dez. 2012.

SAFFARO, F. A. **O Uso da Prototipagem para Gestão do Processo de Produção da Construção Civil**. 2007. 237 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Florianópolis, 2007.